



Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Técnica en Informática de Gestión

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE IMAGEN IR

Autor: Felipe Díaz Cantó.

Director: Juan Meléndez Sánchez.

Leganés, diciembre de 2013.

*A Dani. Siempre presente.
Sin ti, compañero, imposible.*

Agradecimientos

Agradecer a toda mi familia: Tamara, crítica, impulso y razón para continuar, no sólo en este trabajo sino en la, a veces, difícil tarea de vivir; mi madre, por todo, por lo que es y por hacerme lo que soy; mi hermana, siempre una sonrisa y un ejemplo, y a sus tres “secuaces”. Y todos los demás. Un recuerdo para mi padre que ponía como ejemplo de persona sabia a los ingenieros, hoy podría comprobar que no era para tanto, como dijo el gran Albert Einstein *“Todos somos muy ignorantes. Lo que ocurre que no todos ignoramos las mismas cosas”*.

Muy especialmente al conjunto del LIR, por “aguantarme” todos estos años: Fernando, el “Sheriff” y conductor; Juan, media hora de charla y sales corriendo a matricularte en físicas, grandes *ideas de la ciencia* y gran tutor; Antonio “el Sabio” y Su, sobre todo amigos, *“What else?”*. A todos ellos muchas gracias, también, por poner en mis manos todos los medios de LIR, en muchos casos muy valiosos, enseñarme, apoyarme e instigarme a desarrollar este trabajo.

Como no, a toda la “cueva” y los “gnomos” del Parque, los de antes y los de ahora, que si los listara se *nos iría de las manos, por así decirlo...* muchos y fundamentales para ser feliz y aprender día tras día.

A mis amigos, los viejos y los nuevos, de aquí y de allá, todos muy importantes. En especial a Iván, como gran pensador culpable de mi pensamiento, y siempre cerca.

... en general a todos aquellos que nunca perdieron la Fe.

Índice

AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	9
1. INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES.....	11
1.1. INTRODUCCIÓN. VISIÓN GENERAL	11
1.2. ASPECTOS FÍSICOS	13
1.2.1. <i>Espectro electromagnético. Infrarrojo</i>	13
1.2.2. <i>Radiancia e irradiancia.</i>	14
1.2.3. <i>Ley de Planck. Cuerpo Negro</i>	14
1.2.4. <i>Emisividad</i>	15
1.3. ASPECTOS TECNOLÓGICOS.....	16
1.3.1. <i>Sistemas de imagen IR</i>	16
1.3.2. <i>Cuerpos negros</i>	17
1.3.3. <i>Calibración</i>	18
1.4. SOFTWARE. LABVIEW	20
1.4.1. <i>Estructuras e instrucciones</i>	22
1.4.2. <i>Módulos adicionales</i>	25
2. ANÁLISIS.	29
2.1. EL PROBLEMA. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS	29
2.2.1. <i>Alcance</i>	31
2.2.2. <i>Requisitos del sistema. Entrada</i>	32
2.2.3. <i>Requisitos del sistema. Salidas</i>	34
3. INSTRUMENTACIÓN Y COMUNICACIÓN	37
3.1. SISTEMAS DE IMAGEN IR.....	37
3.1.1. <i>Merlin Uncooled</i>	37
3.1.2. <i>Road Runner BitFlow</i>	39
3.2. CUERPOS NEGROS	42
3.2.1. <i>SBIR 2004G y 4006G</i>	42
4. DESARROLLO. EJEMPLO DE CALIBRACIÓN	45
4.1. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO. <i>GUI</i>	45
4.1.1. <i>Configuración de hardware</i>	46
4.1.2. <i>Configuración de adquisición</i>	47
4.1.3. <i>Proceso de calibrado</i>	49
4.2. FUNCIONALIDAD	51
4.2.1. <i>Configuración de hardware</i>	53
4.2.2. <i>Configuración de adquisición</i>	56
4.2.3. <i>Proceso de calibrado</i>	58
4.2.3.1 <i>Adquisición de Temperaturas</i>	60
4.2.3.2. <i>Calcular Resultados</i>	67
5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	70
ANEXO I. DICCIONARIO DE DATOS	72

ANEXO II. DETALLE DE VIRTUAL INSTRUMENTS.....	74
ANEXO III. PRESUPUESTO.....	92
ANEXO IV. VERSIONES DE SOFTWARE.....	93
BIBLIOGRAFÍA	94

Índice de figuras y tablas

Figuras

Figura 1	Transmitancia atmosférica medida para una distancia de 2 km al nivel del mar (adaptada de [Hudson]).	13
Figura 2	Espectro electromagnético. Regiones del Infrarrojo.	14
Figura 3	Ejemplo de panel frontal para el estabilizador del cuerpo negro.	20
Figura 4	Ejemplo de diagrama de bloques para el estabilizador del cuerpo negro	21
Figura 5	Case Structure tipo enumerado y tipo booleano.	23
Figura 6	While Loop	23
Figura 7	Flat Sequence Structure	24
Figura 8	Event Structure	24
Figura 9	Timed Loop	25
Figura 10	Esquema de comunicaciones del Sistema Automático de Calibración de Instrumentación de Imagen IR	31
Figura 11	Cámara Merlin Uncooled.	38
Figura 12	Cuerpos negros del LIR.	42
Figura 13	Cuerpo Negro SBIR 2004G.	43
Figura 14	Dispositivo GPIB-USB	43
Figura 15	Interfaz de usuario. Fase 1. Configuración hardware.	47
Figura 16	Interfaz de usuario. Fase 2. Configuración de adquisición.	49
Figura 17	Interfaz de usuario. Fase 3. Proceso de Calibrado.	50
Figura 18	D.F.D. Programa principal	51
Figura 19	D.F.D. Configuración de hardware	53
Figura 20	D.F.D. Configuración de adquisición.	56
Figura 21	D.F.D. Calibrado.	58
Figura 22	D.F.D. Procesar Calibrado.	59
Figura 23	D.F.D. Adquisición de Temperaturas.	60
Figura 24	D.F.D. Estabilizar cuerpo negro.	62
Figura 25	D.F.D. Adquirir imágenes.	64
Figura 26	D.F.D. Escribir archivos.	65
Figura 27	Archivo de cabecera HDR.	66
Figura 28	D.F.D. Calcular calibración.	67
Figura 29	Archivo de Informe CSV abierto con Excel.	69

Tablas

Tabla 1	Especificaciones Merlin Uncooled.	39
Tabla 2	Comandos VISA para cuerpos negros.	44
Tabla 3	Especificaciones Cuerpos Negros SBIR	44

1. Introducción y definiciones

1.1. Introducción. Visión general

En este proyecto se va a desarrollar una aplicación para automatizar el procedimiento de calibración de instrumentos de imagen IR, que se realiza con bastante frecuencia en el Laboratorio de Sensores, Teledetección e Imagen IR (a partir de ahora LIR). Este procedimiento es largo y repetitivo, a la par que bastante sistemático, y actualmente lo realiza un técnico, paso a paso, desempeñando las tareas de configuración de los instrumentos, adquisición y procesamiento de las imágenes y cálculo de resultados. El objetivo principal de este desarrollo es optimizar este proceso, tanto en tiempo como en recursos humanos. La automatización añade otras ventajas propias, como la reducción de tasa de errores, abaratamiento de costes, etc.

Esta aplicación pretende ser un primer paso para la automatización de muchos otros procesos en el laboratorio que implican el manejo de instrumentación y la adquisición de imágenes con cámaras IR.

Calibrar, en esencia, es relacionar la información que nos proporciona un instrumento con una magnitud física que se quiere conocer o medir. Para ello es imprescindible, además del instrumento a calibrar, un patrón de esa magnitud física, es decir, un elemento que proporcione cantidades conocidas de esa magnitud física. Cuando una medida puede relacionarse con un patrón a través de una cadena o serie de estas iteraciones, siendo la incertidumbre conocida, se dice que tenemos una medida con *trazabilidad*.

En el caso que nos ocupa, calibrar un instrumento de imagen IR o cámara IR es relacionar el valor de los números digitales de los píxeles de las imágenes de la cámara con la radiancia incidente que llega a la cámara desde el escenario o con la temperatura de este, usando como patrón un cuerpo negro. Por lo tanto la aplicación a desarrollar realizará dos calibraciones: en radiancia y en temperatura.

La instrumentación, normalmente, cambia en mayor o menor grado sus propiedades con el paso del tiempo y su utilización y por ello varía su precisión en la medida. Por este motivo es necesario recalibrar los instrumentos cada cierto tiempo, variable en función del instrumento.

En el caso de las cámaras IR, hay que señalar que por su forma de funcionar permiten múltiples configuraciones, como: añadir filtros interferenciales, cambiar lentes, tiempos de integración, etc. Cada configuración puede proporcionar valores diferentes para una misma radiancia o temperatura observada y por tanto, también, es necesario calibrar la cámara cada vez que se modifique esta configuración.

El desarrollo de esta aplicación es tan específico, por la conexión y el manejo de instrumentación concreta, que no es posible la adquisición de un software de uso general a terceros. Las empresas fabricantes de cámaras poseen aplicaciones de calibración parecidas

para proporcionar sistemas calibrados a sus clientes, pero no son aplicaciones comercializadas por estas empresas, y además, en caso de disponer de una de estas aplicaciones, sería más complicado adaptarla a la instrumentación del LIR que desarrollar una aplicación de calibración nueva.

Por tanto se ha optado por desarrollar una aplicación *ad hoc* para el laboratorio que realice el proceso de calibración de las cámaras IR.

1.2. Aspectos físicos

Inicialmente haremos un repaso de los conceptos físicos necesarios para entender cómo funcionan los sistemas infrarrojos.

1.2.1. Espectro electromagnético. Infrarrojo

Se entiende por espectro electromagnético al conjunto de ondas electromagnéticas, caracterizadas por la frecuencia o longitud de onda, en las que se distribuye la energía, en particular la que la materia emite (espectro de emisión), o absorbe (espectro de absorción). El espectro electromagnético se cataloga en diferentes regiones, en función de las longitudes de onda o frecuencias, que son, por ejemplo: rayos gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas, radio, etc. En nuestro caso la región importante, en la que trabajan los equipos del laboratorio LIR, es el infrarrojo.

La radiación infrarroja fue descubierta por William Herschel en 1800. Es la región del espectro con mayor longitud de onda (o menor frecuencia), que la región visible, y menor longitud de onda (o mayor frecuencia) que las microondas. De forma general, abarca longitudes de onda desde 0,75 μm hasta 1 mm.

Esta radiación infrarroja se ve, en parte, absorbida por los gases contenidos en la atmósfera de diferente manera, en función del gas y su concentración, y de la longitud de onda. Las zonas de interés, dentro del espectro, para la instrumentación diseñada para la detección de esta radiación son aquellas en las que la atmósfera absorbe menos, dicho de manera inversa, en las regiones atmosféricas en las que se transmite más la radiación IR (las llamadas *ventanas atmosféricas*). Esta absorción atmosférica, al crecer con la cantidad de gas presente en el camino óptico de la radiación, aumenta su relevancia con la distancia de medida.

Observando la gráfica (*figura 1*) que representa esta transmisión de la radiación IR en la atmósfera, denominada *transmitancia atmosférica*, se pueden apreciar las diferentes ventanas.

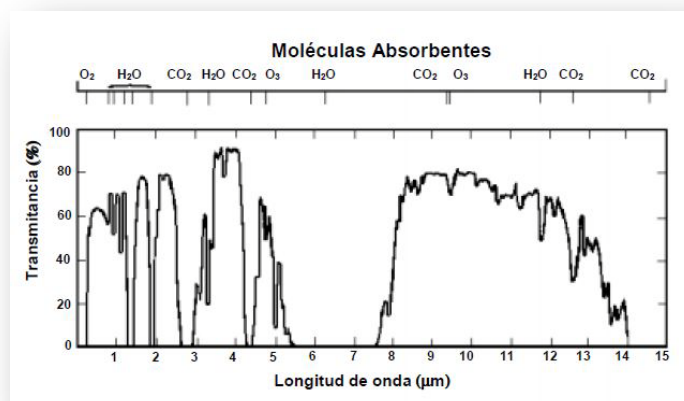


Figura 1. Transmitancia atmosférica medida para una distancia de 2 km al nivel del mar. [Hudson]

Las regiones en que se divide el espectro infrarrojo pueden variar un poco en función de la fuente consultada. Típicamente en la instrumentación infrarroja, especialmente en las cámaras, estas subdivisiones se especifican en longitud de onda en micras (μm) y se eligen en función de las ventanas atmosféricas. Estas ventanas son: NIR o infrarrojo cercano que abarca de 0,75 a 1,4 μm ; SWIR o infrarrojo de longitud de onda corta desde 1,4 a 3 μm ; MIR o infrarrojo medio de 3 a 5 μm y TIR (LWIR) o infrarrojo térmico (o de longitud de onda larga) de 7 a 14 μm . Dentro de estas divisiones, las regiones de trabajo más habituales en cámaras del LIR son MIR y TIR.

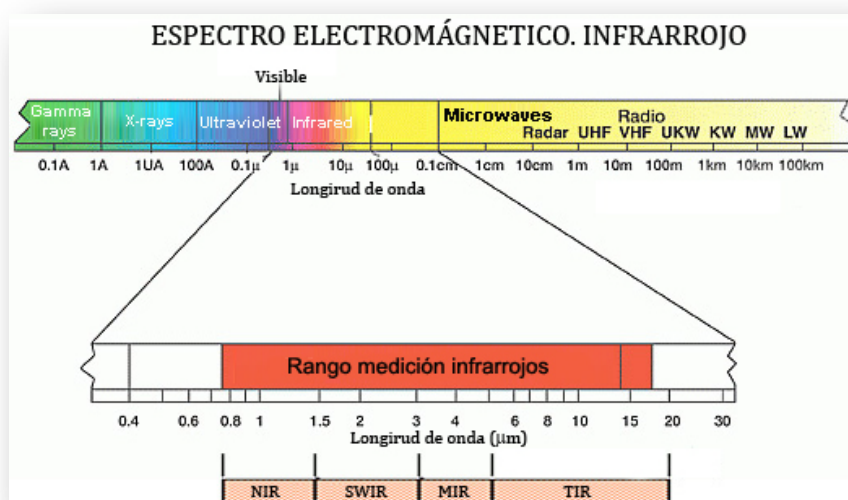


Figura 2. Espectro electromagnético. Regiones del Infrarrojo

1.2.2. Radiancia e irradiancia.

En un instrumento de imagen IR, la potencia detectada por unidad de área del detector se denomina *irradiancia* E [W/m^2]. Esta magnitud es difícil de calcular por ser dependiente del ángulo con que la energía se proyecta sobre el detector, en unidades de *ángulo sólido*. Este ángulo varía en función del sistema óptico utilizado, en concreto de la apertura y de la distancia focal.

Para simplificar este cálculo de irradiancia se recurre a la magnitud denominada *radiancia* L [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{sr}$] que no depende de ese ángulo sólido y además tiene la propiedad ser invariante, es decir que se mantiene constante a lo largo de la propagación de un rayo [Aranda, 27], independientemente de los sistemas ópticos utilizados. Por ello la instrumentación IR se calibrará en radiancia.

1.2.3. Ley de Planck. Cuerpo Negro

A principios del siglo XX Max Planck determinó que la intensidad de la radiación emitida en una frecuencia dada por un cuerpo está en función de dicha frecuencia y de su temperatura,

La ecuación para el cálculo de esta intensidad o radiancia es lo que se denomina como ley de Planck.

El concepto cuerpo negro se refiere a un elemento ideal que absorbe toda la radiación electromagnética que incide sobre él. Un cuerpo negro en equilibrio termodinámico emite, en todas las longitudes de onda del espectro electromagnético, toda la radiación que absorbe, lo que convierte también en un emisor ideal. La radiación emitida por un cuerpo negro en cada longitud de onda, en función de su temperatura, viene dada por la ley de Planck

Se denomina *radiancia espectral* a la radiancia emitida por intervalo de longitud de onda y radiancia integrada a la contenida en todas las longitudes de onda dentro de una ventana del espectro, es decir, la integral de la anterior radiancia espectral dentro del intervalo de trabajo.

1.2.4. Emisividad

Según la ley de radiación de Kirchhoff, un cuerpo, en comparación con un cuerpo negro, emite la energía en la misma proporción que la absorbe. A estas proporciones se las denomina: emisividad, ε y absortancia, α . Según ley de Kirchhoff, entonces, para cualquier cuerpo la radiancia emitida es $L=L_{CN}\cdot\varepsilon$ (siendo L_{CN} la radiancia emitida por un cuerpo negro a igual temperatura), siendo $\varepsilon = \alpha$, donde α es la fracción absorbida de la radiación incidente.

La fracción de radiación transmitida en un medio se denomina transmitancia, τ y la reflejada reflectancia, ρ . La conservación de la energía implica que $\rho+\tau+\alpha = 1$, pero para el caso frecuente de objeto opaco ($\tau=0$), se tiene $\rho=1-\alpha = 1-\varepsilon$.

Para sistemas que detectan energía será de interés conocer la proporción de la energía que se emite, es decir la emisividad.

La emisividad es, lógicamente, adimensional y se cuantifica con valores entre 0 y 1. Para un cuerpo opaco, como hemos dicho, es mayor cuanto menor sea la reflectancia. Como ejemplos podríamos tener, una emisividad de 1 en un cuerpo negro ideal y por ello teórico cuya absorbancia es total, y casi 0 en, por ejemplo, un espejo cuya reflectancia es máxima.

La emisividad de un material puede variar en las diferentes longitudes de onda. A la emisividad en una longitud de onda concreta se denomina emisividad espectral. Por otro lado la emisividad también puede variar dependiendo de la temperatura del cuerpo.

1.3. Aspectos tecnológicos

Seguidamente haremos un repaso general de los aspectos tecnológicos y de la instrumentación infrarroja.

1.3.1. Sistemas de imagen IR

Un sistema de imagen IR es un dispositivo electrónico de adquisición de imágenes digitales en la región del IR. En esencia igual que cualquier otra cámara video convencional pero con la particularidad de que sus detectores en lugar de ser sensibles a la ventana del visible del espectro electromagnético lo son a la ventana, o una parte, del infrarrojo.

Existen sistemas de imagen IR más o menos complejos en función del número de ventanas dentro del IR que pueden detectar. Sistemas monoespectrales o monobanda, con una ventana, MIR, TIR, etc.; sistemas multiespectrales, con un número pequeño de subventanas o bandas, habitualmente entre 4 y 8; y sistemas hiperespectrales, con miles de bandas diferentes detectables.

Las cámaras IR representan la magnitud medida en un rango de valores que llamamos nivel digital (desde ahora ND). Estos valores dependen de la cantidad de energía, en forma de fotones, que le llega, contenida en una ventana para la que ha sido diseñada.

Los elementos más importantes de un sistema de imagen IR son:

- Un array (matriz) de detectores, pudiendo ser de muy diferentes compuestos en función, entre otros motivos, de la ventana del infrarrojo que se quiere detectar.
- La electrónica necesaria para gestionar la información que obtiene el detector y transmitir esa información al exterior, generalmente a un ordenador.
- Una óptica infrarroja, compuesta por lentes transparentes en el infrarrojo que, como en cualquier sistema de imagen, sirve para focalizar la imagen en el detector.

Cada uno de los detectores del array no siempre responde igual, devolviendo el mismo ND para una radiancia dada. Éste ND depende de su nivel de offset y su ganancia (no confundir con ganancia y offset de calibración). Esto supone que se debe realizar una uniformización de esta respuesta, denominada *Non uniformity correction* (desde ahora NUC). Existen dos métodos para realizar esta uniformización dependiendo, fundamentalmente, del material de detector:

- Corrección a dos puntos en la que, a partir de una referencia de baja energía y otra de alta, se genera una relación lineal para cada pixel conociendo así su respuesta; respuesta que ajustará el sistema de adquisición para que el ND proporcionado ante una misma radiancia sea en todos los píxeles igual.

- Corrección a un punto en la que se presupone ganancias iguales para todos los píxeles y por tanto sólo es necesaria una referencia de baja energía que marcará el offset de cada píxel.

Se entiende por referencia una superficie de energía uniforme que ocupe todos los píxeles de la imagen, colocándola frente a la lente, lo más cerca posible sin necesidad de enfocar.

Además de los elementos básicos de una cámara existen innumerables elementos añadidos dependiendo del equipo correspondiente. Por ejemplo, la mayoría de las cámaras del LIR contienen, o se han desarrollado explícitamente, elementos para incluir un *filtro interferencial*, elemento óptico que permite restringir la ventana infrarroja que se quiere detectar.

La electrónica de la cámara permite modificar un parámetro muy importante que es el *tiempo de integración* y cuya definición es: el tiempo durante el cual el detector integra la llegada de fotones para generar cada imagen. Este parámetro se determina en función de lo energético que sea el escenario que se quiere medir, ya que cuando más energético más cantidad de fotones llegan al detector.

Las cámaras IR, según su configuración y en función de la radiancia que reciben, devuelven valores dentro de un rango de ND, (usualmente 2^{12} , 2^{14} o 2^{15}); a este rango se denomina *rango dinámico* del sistema y cuyos límites son: por debajo, el nivel ruido, cuando el nivel de energía es tan bajo que la cámara no es capaz de detectarlo. Y por arriba, el límite de saturación, cuando el nivel de energía es tan alto que la cámara no detecta variaciones de energía. Los detectores se diseñan para que dentro de este rango la respuesta sea lineal. También podemos denominar a este rango como región de trabajo de la cámara.

1.3.2. Cuerpos negros

En los laboratorios infrarrojos resulta muy útil disponer de una fuente que sea una realización lo más aproximada posible del cuerpo negro ideal de la ley de Planck. Estos instrumentos de laboratorio se llaman cuerpos negros.

Un cuerpo negro contiene un elemento que emite, en todas las longitudes de onda, una radiancia conocida, según la ley de Planck, a partir de una temperatura indicada. Esto le convierte en un patrón de emisión de energía y proporciona la capacidad de dar trazabilidad a instrumentos que pueden detectar radiancia o temperatura.

Los cuerpos negros se catalogan fundamentalmente por su elemento emisor. Según ese criterio existen dos tipos: unos denominados *extensos* en cuyo caso su elemento emisor de energía es una superficie sólida; y otros denominados *de cavidad* los cuales el elemento emisor es la apertura de una cavidad.

Los cuerpos negros de cavidad, consiguen una alta emisividad en su apertura aunque la emisividad de sus paredes no sea especialmente alta, por un fenómeno de múltiples

reflexión en el interior de la cavidad. Cuantos menos rayos salgan de la cavidad, por tanto más pequeña sea la apertura en relación al tamaño de la cavidad, mayor será la emisividad conseguida. Esta alta emisividad hace a estos cuerpos negros mejores en principio que los extensos, pero el reducido tamaño de su cavidad es un hándicap importante cuando se trabaja con imagen.

1.3.3. Calibración

La definición, según el diccionario de real academia de la lengua, para calibrar, en su quinta acepción es: *5. Fís. Ajustar, con la mayor exactitud posible, las indicaciones de un instrumento de medida con los valores de la magnitud que ha de medir.*

En nuestro caso el instrumento a ajustar es la cámara IR y las magnitudes que se han de medir son la radiancia que emite el escenario encuadrado en sus imágenes y su temperatura. Por ello tenemos la posibilidad de hacer dos calibraciones en radiancia y en temperatura.

Radiancia

La relación entre el valor digital que se obtiene de la cámara y la radiancia se puede ajustar, siempre que estemos en la región lineal de trabajo, mediante una regresión lineal y por tanto calibrar la cámara es obtener la ecuación de esa recta con un offset o intersección en el origen y una ganancia o pendiente. Y por tanto para calcular la radiancia a partir de los resultados de calibración podremos aplicar:

$$L = (ND * ganancia) - offset$$

Temperatura

La relación entre el valor digital y la temperatura no puede ajustarse mediante una ecuación lineal. El valor digital es proporcional a la irradiancia sobre el detector, y por lo tanto a la radiancia incidente, integrada en el intervalo espectral de trabajo de la cámara, pero ésta, según la ley de Planck, no depende linealmente de la temperatura. A lo largo del tiempo se han ideado varios métodos para ajustar esta relación, entre ellos:

- Método denominado BRF. El procedimiento de este método es ajustar con una aproximación, calculando estos tres parámetros, la integral de radiancia de la ley de Planck, que en sí misma no es invertible por no ser una función analítica. Al invertir esta función de aproximación se obtiene la siguiente expresión [Aranda, 70-71]:

$$T = \frac{B}{\ln\left(\frac{R}{L} + F\right)}$$

Este método requiere ajustar unos parámetros BRF para cada ventana espectral elegida y por tanto esta ventana será un input del método. Se ha podido comprobar que el ajuste empeora cuanto más ancha es esta ventana.

- Ajuste polinómico. En este método se calcula un ajuste polinómico que relaciona la temperatura con el ND. Se ha analizado que para un ajuste correcto el polinomio debe ser de, al menos, grado 4 y con una precisión de aproximadamente 15 decimales. Por tanto para el cálculo de temperatura con los coeficientes del polinomio se aplica:

$$T = a \cdot ND^4 + b \cdot ND^3 + c \cdot ND^2 + d \cdot ND + e.$$

Este método es independiente de la radiancia y no necesita conocer la ventana espectral, sólo lo es del ND, aunque es especialmente crítico a la hora de elegir las temperaturas para la calibración ya que el ajuste extrapolado causa mucho error.

Se ha optado por realizar un ajuste polinómico que es el menos dependiente de otros factores y se ha podido comprobar de su eficacia teniendo un buen criterio en la elección de los puntos de calibración. Además es el método más utilizado actualmente en el LIR y por tanto se han desarrollado recientemente procedimientos para la utilización de los resultados de este método, mediante los cuales se transforman imágenes de ND a temperatura.

1.4. Software. LabVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) ([LabVIEW], [website 07] y [website 08]) es un software de desarrollo gráfico o de diagrama de bloques, propiedad de National Instruments. Las aplicaciones de LabVIEW se desarrollan en *lenguaje G*, un lenguaje gráfico con el que se programa mediante diagramas que definen el flujo de la aplicación.

LabVIEW, aunque especializado en el control y manejo de instrumentación, permite cualquier tipo de programa que se quiera desarrollar, ya que posee las mismas estructuras e instrucciones, o equivalentes, que cualquier otro lenguaje de programación. Por otro lado es un entorno muy sencillo e intuitivo gracias su lenguaje gráfico.

Los elementos funcionales, lo que en un lenguaje de programación de alto nivel son funciones, en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales o VI (*Virtual Instruments*). Estos VI's se componen de dos elementos: el panel frontal y el diagrama de bloques. Se denomina VI al programa principal y subVIs a instrumentos virtuales jerárquicamente por debajo de este u otros.

Se ha elegido este software por la facilidad para desarrollar, al ser un entorno de desarrollo pensado para el control de instrumentación. Para mucha instrumentación industrial y de laboratorio existen desarrolladas, por las propias empresas suministradoras de los equipos, sus propias librerías de subVIs de control y sólo tendremos que utilizarlas en nuestra aplicación.

El **Panel Frontal** es la interfaz con el usuario o con otros subVIs, es decir, los datos o parámetros de entrada y de salida propias de la aplicación o de la funcionalidad definida en ese VI.

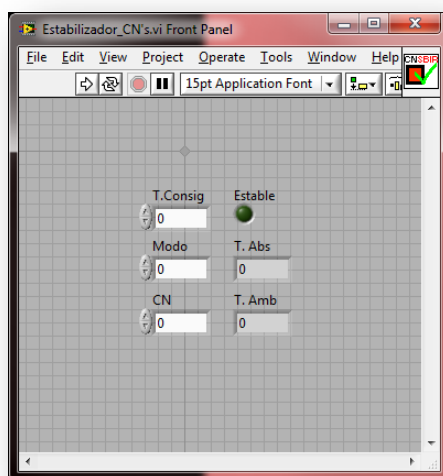


Figura 3. Ejemplo de panel frontal para el estabilizador del cuerpo negro.

En el caso del VI principal será la interfaz con el usuario con objetos de entrada de valores como, cajas de texto, botones de accionamiento, barras de selección, etc. y objetos de salidas de resultados o indicaciones como, gráficas, etiquetas de textos, marcadores de estado, etc.

El **Diagrama de Bloques** es donde se define la funcionalidad del VI. Contiene las instrucciones básicas, estructuras de control, declaraciones de constantes y variables, invocaciones a otros subVIs, etc. necesarias para la implementación de la operaciones que debe realizar el VI.

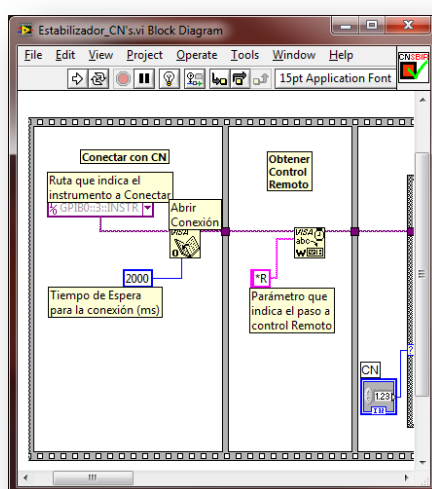


Figura 4. Ejemplo de diagrama de bloques para el estabilizador del cuerpo negro.

Todo objeto del Panel Frontal tendrá su homónimo en el Diagrama de Bloques. Estos objetos en el Diagrama de Bloques serán el camino de llegada de la información necesaria en la funcionalidad, llamados controles y de salida de los resultados, llamados indicadores. En muchas ocasiones estos valores pueden ser utilizados o modificados en varias partes del diagrama del VI. Para evitar un gran número de conexiones que dificultarían la claridad del diagrama se utilizan un elemento llamado *Variable Local* que se puede agregar en cualquier parte de este diagrama, seleccionando si es de lectura para obtener la información o de escritura para devolverla. Estas variables locales sólo pueden ser llamadas desde un mismo VI, nunca desde ningún otro VI o subVI.

En LabVIEW crear o declarar una variable es crear un objeto en el diagrama de bloques, del tipo que se desea que sea la variable, que será utilizada en este diagrama de bloques. Su objeto asociado en el Panel Frontal, aunque se crea, puede que no sea utilizado para introducir información ni para mostrarla en la región de este que hemos determinado como la interfaz con el usuario.

Los objetos de LabVIEW poseen propiedades que definen su apariencia o funcionalidad. Para interactuar con estas propiedades se ofrece un elemento llamado *Property Node* que utilizaremos con frecuencia y para ello debemos: enlazarlo a un objeto, esto nos permite desplegar las propiedades disponibles en ese tipo de objeto, y por último elegir en cada propiedades si queremos leer de ella su valor o escribirlo.

1.4.1. Estructuras e instrucciones

LabVIEW, por la forma de ejecutar sus aplicaciones, exige ser muy meticuloso con en el control del flujo del programa. Éste ejecuta todas las instrucciones o llamadas que se encuentren en una misma ubicación, estructura de control o todo el diagrama de bloques, sin un orden rígido en la ejecución de esas instrucciones. De forma general se puede decir que se ejecutaran las instrucciones de izquierda a derecha y de arriba abajo, pero solo de forma orientativa y sin tener en cuenta, por ejemplo, el tiempo de ejecución de cada una. La única condición controlada es que una instrucción o subVI no se ejecuta hasta haber recibido todos sus parámetros de entrada. Por todo esto debe tenerse especial cuidado, separando los subdiagramas que deban tener condiciones de inicio o finalización, en diferentes estructuras de control.

Describiremos en este apartado las estructuras más interesantes para este trabajo y que además pueden difieren un poco de lo que es habitual en lenguajes de programación.

Case Structure

El bucle *Case* en si no es novedoso, pero si es especial ya que permite simular la típica instrucción *If* que no existe en LabVIEW. Este bucle tiene un parámetro de entrada que acepta diferentes tipos de dato. Para definir una instrucción *If* en el parámetro de entrada conectamos un variable o resultado booleano. En ese caso se nos ofrecerán sólo dos casos donde diseñar un subdiagrama. Si conectamos una variable de otro tipo al parámetro de entrada se permitirá agregar los casos deseados, dentro de los que pueda tener esa variable, creándose un subdiagrama para cada caso elegido.

Si utilizamos un tipo no booleano, esta estructura nos obliga a definir un caso por defecto, que se ejecutará si el parámetro de entrada no coincide con ningún caso descrito.

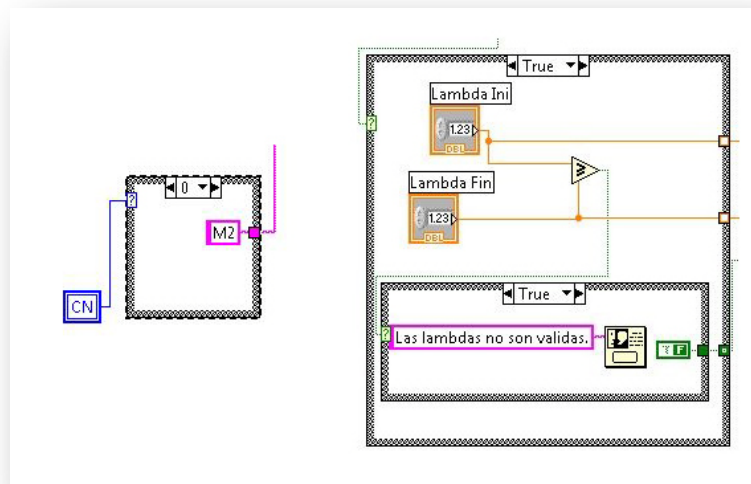


Figura 5. Case Structure tipo enumerado y tipo booleano.

While Loop

Este bucle se ejecuta de forma indefinida hasta que se le indica una condición de salida de tipo booleano. Esta es la estructura básica contenedora de la programación de cualquier aplicación en LabVIEW que se desea mantener activa. Se debe enviar el valor *True* a la condición de salida cuando se desee que acabe la ejecución. Este bucle nos ofrece un contador de iteraciones que puede ser de utilidad en algunos casos.

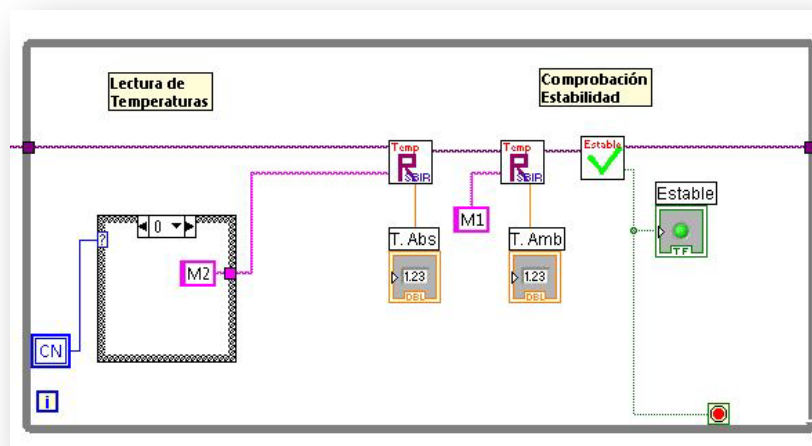


Figura 6. While Loop

Flat Sequence Structure

Estructura que consiste en uno o más subdiagramas separados en frames que se ejecutan secuencialmente de izquierda a derecha. La condición indispensable de inicio de cada una, excepto la primera, será la finalización de la anterior.

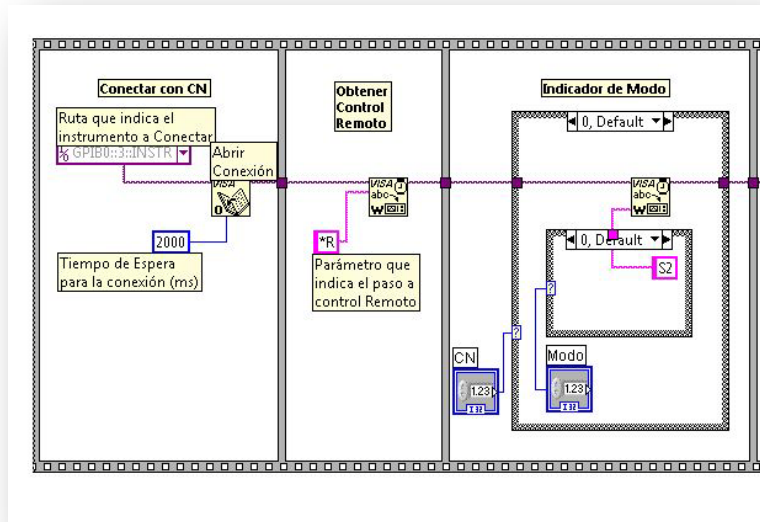


Figura 7. Flat Sequence Structure

Event Structure

Es una estructura con un conjunto definido de eventos de entre los posibles que se puede generar en la interfaz gráfica y que se activará solamente cuando se produzca alguno de estos eventos, ejecutando el subdiagrama asignado a ese evento.

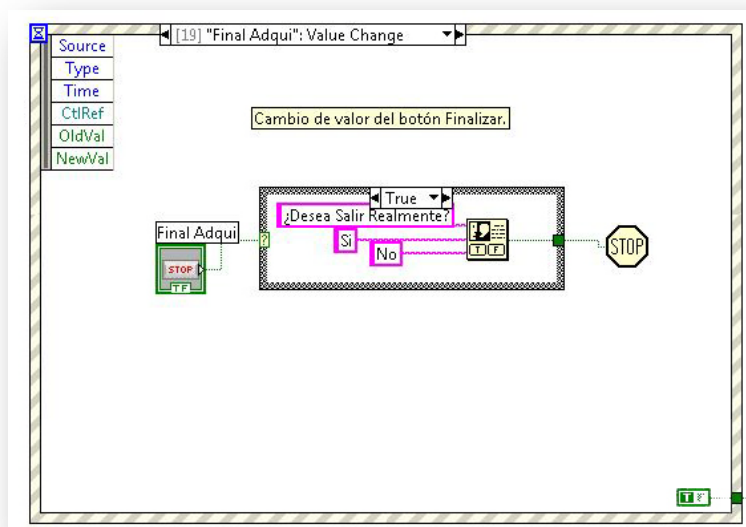


Figura 8. Event Structure

Timed Loop

Es un bucle temporizado que se ejecuta de forma indefinida hasta que se le pase el valor *True* al indicador de salida.

Contiene un parámetro de entrada denominado *dt* donde deberemos asignar el periodo con el que deseamos se ejecuten las iteraciones. También nos devuelve un valor booleano en cada iteración en el parámetro *Finished Late*, que será *True* cuando el sistema no sea capaz de ejecutar la iteración anterior en el periodo requerido.

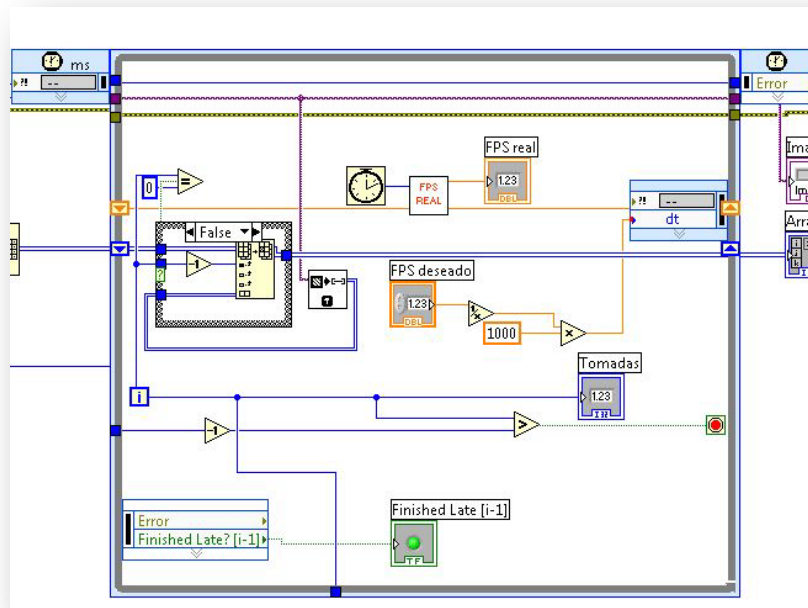


Figura 9. Timed Loop

1.4.2. Módulos adicionales

NI-IMAQ Vision

NI-IMAQ Vision es un software para la adquisición, gestión y procesamiento de imágenes dentro del entorno LabVIEW. En nuestra aplicación no utilizaremos este paquete para la adquisición ya que, como veremos, tenemos subVIs específicos de la instrumentación para esta finalidad.

Este paquete genera un nuevo tipo de dato llamado *IMAQImage* para contener las imágenes. Este tipo se creará a través del subVI *Imaq Create.vi*. Desarrollaremos a partir de él un subVI que le añadirá las dimensiones de imagen. *CrearlImagenIMAQ.vi*

De los subVIs de este paquete en nuestro desarrollo utilizaremos los siguientes:

IMAQ Cast Image.vi

Objetivo:	Crea una copia de una imagen convirtiendo la nueva a un tipo de dato especificado.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Image Src	Imagen original que se va a copiar	IMAQImage
	Image Dst	Variable Imagen que almacena el resultado.	IMAQImage
	Image Type	Tipo de dato al que se quiere convertir	UInt32
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	Image Dst	Imagen generada del nuevo tipo	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

Imaq Create.vi

Objetivo:	Crea una variable en memoria para el almacenamiento de una imagen.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Nombre	Nombre de la variable.	String
	Image Type	Tipo de dato de la imagen.	UInt32
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	Image Out	Variable de tipo imagen generada	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

Imaq GetImageSize.vi

Objetivo:	Capturar las dimensiones de una variable de tipo imagen.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Image	Variable de tipo imagen de la que se quiere obtener las dimensiones.	IMAQImage
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	Image Out	Imagen de entrada al VI	IMAQImage
	X Resolution	Dimensión X capturada.	Int32
	Y Resolution	Dimensión Y capturada.	Int32
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

IMAQ ImageToArray.vi

Objetivo:	Copiar los valores de una variable imagen a un array de diferentes tipos		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Image	Imagen que se quiere copiar.	IMAQImage
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	Image Out	Imagen de salida del VI	IMAQImage
	Image Pixels (U8)	Array de tipo unsigned integer de 8 bits.	UInt8
	Image Pixels (I16)	Array de tipo integer de 16 bits.	Int16
	Image Pixels (I16)	Array de tipo float	Float
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

IMAQ Quantify.vi

Objetivo:	Devuelve las estadísticas de una imagen o de las ROIs indicadas en una máscara.		
	Nombre	Descripción	Tipo
	Image	Imagen de la que se obtienen las estadísticas.	IMAQImage
	Image Mask	Mascara que contiene las ROIs.	IMAQImage
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	Global Report	Estadísticas de todas las ROIs.	Cluster
	Region Report	Estadísticas de las ROIs de forma independiente.	Cluster
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

IMAQ ReadFile.vi

Objetivo:	Lectura de una imagen contenida en un archivo.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	File Path	Ruta del archivo de imagen.	File Path
	Image	Variable de tipo imagen donde se carga la captura	IMAQImage
	File Options	Información del formato de imagen.	Cluster
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	Image Out	Variable de tipo imagen generada.	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

Imaq SetImageSize.vi

Objetivo:	Asignar o modificar las dimensiones de una variable de tipo imagen.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Image	Variable de tipo imagen a modificar.	IMAQImage
	X Resolution	Nueva dimensión X.	Int32
	Y Resolution	Nueva dimensión Y.	Int32
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	Image Out	Variable de tipo imagen generada	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

NI-VISA

VISA (*Virtual Instrument Software Architecture*) es un estándar software de comunicación con instrumentación. Es un estándar ampliamente utilizado en instrumentación industrial de test y medida [website 14].

LabVIEW contiene un paquete de librerías para la utilización de la interfaz VISA que necesitaremos en nuestro desarrollo, llamado NI-VISA. De las funcionalidades de este paquete utilizaremos las siguientes:

VISA Open.vi

Objetivo:	Abrir la conexión con el dispositivo especificado		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	VISA resource name	Nombre del dispositivo.	VISA session
	VISA Open timeout	Tiempo a esperar para la conexión.	Int32
Salidas:	VISA resource name out	Nombre del dispositivo conectado.	VISA session

VISA Close.vi

Objetivo:	Cerrar la sesión de la conexión establecida con el dispositivo indicado.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	VISA resource name	Nombre del dispositivo.	VISA session
Salidas:			

VISA Read.vi

Objetivo:	Leer un dato solicitado al dispositivo conectado.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	VISA resource name	Nombre del dispositivo.	VISA session
	byte count	Número de bytes que se van a leer.	Int32
Salidas:	VISA resource name out	Nombre del dispositivo del que se ha leído.	VISA session
	Read buffer	Información leída del dispositivo.	String

VISA Write.vi

Objetivo:	Escribir una instrucción o solicitud en el dispositivo conectado		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	VISA resource name	Nombre del dispositivo.	VISA session
	Write buffer	Información escrita en el dispositivo	String
Salidas:	VISA resource name out	Nombre del dispositivo en el que se ha escrito.	VISA session

2. Análisis.

2.1. El problema. Descripción y objetivos

El LIR necesita, para numerosas aplicaciones, conocer la radiancia y la temperatura medida por sus sistemas de imagen. Para relacionar el ND con esta radiancia o temperatura hay que realizar una calibración de la cámara. Analizaremos en qué consiste este proceso.

Cada calibración de un sistema de imagen IR y por tanto para cada ejecución de la aplicación a desarrollar se realiza para una cámara y un cuerpo negro como patrón.

Habitualmente las cámaras IR tienen sus propios ordenadores de adquisición con software, a veces inevitable, de control, manejo de complementos, etc. Por este motivo no resulta interesante desarrollar una única aplicación que maneje las diferentes cámaras del LIR, sino que cada cámara tenga su propia instancia del programa.

Lo ideal es implementar una aplicación en la que las partes dedicadas al manejo de la instrumentación sean fácilmente modificables para la adaptación a otras cámaras e incluso aquellas que puedan ser adquiridas en el futuro.

Calibrar una cámara IR, de forma general, consiste en:

- Obtener, a través de medidas con la cámara infrarroja, un valor de ND para un número suficientemente grande de temperaturas, denominadas puntos de calibración, definidas dentro del rango de que se quiere calibrar.
- Calcular, según la ley de Planck, la radiancia integrada emitida por el cuerpo negro a cada una de las temperaturas elegidas para la calibración y determinada por la configuración de la cámara, aplicando el factor de emisividad correspondiente. Aplicar, también, el factor de emisividad a cada temperatura.
- Establecer, una vez obtenidos estos dos valores para cada temperatura, la relación correspondiente entre ND y radiancia, y entre ND y temperatura.

Analizaremos a continuación el proceso de calibración de forma más exhaustiva para entender mejor la funcionalidad de la aplicación a desarrollar. Podemos definir las siguientes fases:

Definición del rango y configuración de la calibración.

En primer lugar se debe determinar por un lado, la configuración de sensibilidad y características ópticas del sistema de imagen, la distancia mínima de enfoque que marca esa configuración óptica y los puntos de calibración, es decir, las diferentes temperaturas de cuerpo negro para cubrir el rango elegido.

La distancia mínima de enfoque es importante para realizar las mediadas de calibración lo más cerca posible y poder desestimar la absorción atmosférica; que sí habrá que tener en cuenta al utilizar los resultados de calibración si se hace con medidas a más distancia.

Se definen también, fundamentalmente en función de la estabilidad del cuerpo negro, el número de imágenes y la velocidad de adquisición deseada en cada secuencia.

En algunos casos los cuerpos negros cuando alcanzan su temperatura de consigna tienen ciertas variaciones de forma sinusoidal entorno a esa temperatura, llamado *efecto rebote*. En este caso conviene adquirir las imágenes de forma tal que al promediar las imágenes nos quedemos con el valor medio de la forma sinusoidal y por tanto el valor correcto de temperatura.

Montaje de escenario.

Se ubican los instrumentos en el laboratorio. El sistema de imagen frente al cuerpo negro a la distancia mínima de enfoque calculada previamente. Se realizan las conexiones pertinentes para el correcto funcionamiento de los equipos. Una vez visualizada la imagen se procede al encuadre y enfoque del cuerpo negro en ella.

Adquisición de imágenes de cuerpo negro.

Se debe adquirir una secuencia de imágenes de cuerpo negro para cada una de las temperaturas de los puntos de calibración decididos. Esta adquisición implica tres pasos: indicar la temperatura de consigna en el cuerpo negro, esperar a que esté estable a esa temperatura, y adquirir la secuencia con el sistema de imagen.

Debemos comprobar previamente que toda la región de la superficie del cuerpo negro utilizada en la calibración emite de igual forma y por tanto, responden igual todos los píxeles en la imagen uniformizada, es decir, devuelven el mismo ND (con las variaciones que produce el ruido del sistema) para una temperatura dada.

Obtención de resultados.

Por último para la obtención de los resultados se calcula un valor de nivel digital para cada temperatura. Este valor se obtiene promediando las secuencias espacial y temporalmente, es decir, el promedio en las tres dimensiones del array que contiene la secuencia. Con esto tenemos un valor único de ND para cada temperatura.

Podemos hacer este promediado gracias a que trabajamos con imágenes uniformizadas y por tanto sabemos que todos los píxeles responden igual.

Seguidamente se debe obtener, aplicando la ley de Planck, para la ventana espectral elegida y cada temperatura, un valor de radiancia emitida por el cuerpo negro, aplicando la emisividad propia de esa temperatura.

Finalmente teniendo los tres valores para cada punto de calibración, temperatura, ND y radiancia se obtienen las ecuaciones para relacionarlos. En el caso de ND frente a radiancia es una relación lineal y por tanto obtenemos una ganancia y un offset que determinan la recta de calibración.

Para ND frente a temperatura la relación es polinómica y debemos calcular los coeficientes del polinomio. Como decíamos en el apartado 1.3.3, para un ajuste preciso en temperatura se deben generar un polinomio, al menos, de grado 4 y con precisión de 15 decimales.

2.2.1. Alcance

Se desea que el alcance de la aplicación vaya, desde la visualización en directo de la imagen proporcionando visión para el paso de encuadre y enfoque, hasta la obtención de resultados. Tanto la determinación de rango y puntos de calibración como el montaje del escenario no es posible automatizarlo. Podemos definir las siguientes funcionalidades para la aplicación:

- Implementar los subVIs para comunicarnos y controlar de forma automática la instrumentación implicada en el proceso. Tanto la cámara como el cuerpo negro
- Ofrecer herramientas para la configuración de la calibración, tanto de la instrumentación, como la adquisición de las imágenes.
- Implementar los subVIs necesarios para gestionar la información recibida del usuario y de la instrumentación. Calculando con ella los resultados solicitados de calibración.

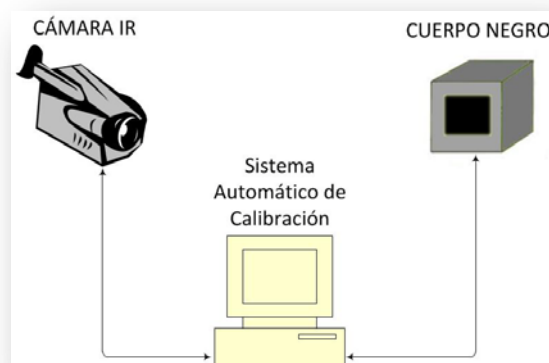


Figura 10. Esquema de comunicaciones del Sistema Automático de Calibración de Instrumentación de Imagen IR

2.2.2. Requisitos del sistema. Entrada

Describimos las entradas de la aplicación.

Imágenes IR.

Se necesita que a la aplicación le lleguen las imágenes de la cámara con la frecuencia máxima que permitan su sistema de adquisición y LabVIEW, para posteriormente reducirla como desee el usuario tanto en la visualización inicial como en la adquisición de secuencias.

Se necesita conocer también las dimensiones horizontal y vertical en píxeles de las imágenes que se obtienen con la cámara.

Regiones de interés (ROIs).

El usuario seleccionará la región o regiones de la imagen ocupada por cuerpo negro que se utilizará para el cálculo de promedio de ND.

Normalmente, debido a las características ópticas del sistema, el cuerpo negro no ocupa toda la imagen de la cámara. Por ello será muy importante determinar esta región de la imagen, denominada región de interés o ROI, que queremos utilizar para este cálculo promedio. Debe ser posible la selección de varias ROIs si fuera necesario.

Lo deseable sería que el usuario dispusiera de las herramientas necesarias para dibujar las ROIs sobre la imagen.

Nombre de archivo de trabajo.

El usuario deberá elegir un nombre base de archivo y un directorio de trabajo donde se almacenarán los archivos generados por la aplicación con los sufijos y extensiones correspondientes.

Información de Cuerpo negro de calibración

Se debe seleccionar un modelo de cuerpo negro y su configuración de funcionamiento para ser manejado por la aplicación.

Habrà que tener en cuenta que en función de si la calibración se va a realizar para altas o bajas temperaturas el cuerpo negro a utilizar es diferente. Se debe poder elegir uno de los dos cuerpos negros extensos de los que dispone el LIR: el modelo 4006G para calibraciones de alta temperatura y el modelo 2004G para calibraciones de temperatura baja. En calibraciones con el cuerpo negro 2004G se debe seleccionar también el modo de funcionamiento del mismo, absoluto o diferencial. Analizaremos estos modelos en el apartado 3.2.1.

Puntos de calibración

Son las temperaturas que se han determinado como necesarias para la cubrir el rango deseado. Es bastante usual definir una temperatura inicial y una final así como un delta de temperatura, es decir, el incremento entre una y su siguiente.

El número de puntos de calibración varían dependiendo de la configuración del sistema y del rango de temperaturas que se deseen barrer.

Características de adquisición.

Para cada temperatura elegida hay que decidir dos valores que definen la adquisición de la secuencia: El número de bandas o imágenes por secuencia y la frecuencia o velocidad de adquisición. También debe poderse elegir la emisividad del cuerpo negro asociada a esa temperatura y que determina su radiancia. Habitualmente estos tres valores coinciden para todas las temperaturas, aunque se deben poderse seleccionar de forma independiente ya que no siempre se da esa circunstancia.

El tiempo de adquisición para obtener un valor óptimo de ND eliminando el efecto rebote del cuerpo negro una vez estable con la instrumentación actual, puede tasarse en aproximadamente 10 segundos. Para no generar archivos de secuencias muy pesados es preferible seleccionar una velocidad no muy alta, se ha comprobado que no se mejora la precisión de la calibración por promediar un número alto de bandas.

Rango Espectral

Son los límites, en longitudes de onda en micras, que definen la ventana infrarroja para la que se ha configurado el sistema de imagen. Es decir, cuando se calibre la cámara sin modificaciones ópticas será la ventana en la que transmite la óptica de la cámara y las que sea capaz de medir el detector, y si se utiliza un filtro interferencial la ventana la definirá el propio filtro. Este rango espectral es un dato necesario para el cálculo de radiancia en la ley de Planck y por tanto necesario para la calibración en radiancia. Para la calibración en temperatura este rango no sería necesario ya que no se utiliza la ley de Planck.

Información relativa a la calibración.

Se desean almacenar en el documento de resultados de las calibraciones información relativa a ellas. El usuario, de forma opcional, podrá elegir esa información con unos campos por defecto y otros libres. Estos campos pueden variar en función de los instrumentos a utilizar, una generalización de ellos puede ser:

- Filtro interferencial.
- Tiempo de integración / NUC.
- Distancia focal.
- Distancia de Medida.

2.2.3. Requisitos del sistema. Salidas

Describimos las salidas que se desea genere la aplicación:

Imagen en directo.

Se debe mostrar al usuario la imagen de la cámara en directo cuando éste procede al encuadre y al enfoque del cuerpo negro y cuando determina la ROI.

Estadísticas de ROI's

Esta información será decisiva para comprobar posibles desviaciones espaciales en la superficie del cuerpo negro. Para subsanar posibles errores en la elección de las ROIs, debido a estas desviaciones, se deben mostrar estas estadísticas de ROI, especialmente la desviación estándar entre píxeles, que ayuda a comprobar que la región elegida es uniforme.

Resultados de calibración en radiancia.

Como decíamos, la calibración en radiancia viene definida por una regresión lineal de la radiancia frente al nivel digital y por tanto para ser definida debemos obtener dos parámetros: ganancia y offset. Este ajuste lineal se genera a partir de un error cuadrático medio que también debería obtenerse como resultado de la calibración.

Estos resultados se mostrarán al usuario y se almacenarán en el informe de calibración.

Resultados de calibración en temperatura.

Para la calibración en temperatura se utiliza el método de ajuste polinómico para el ajuste entre ND y temperatura. Por tanto los resultados que se deben obtener de esta calibración son los 5 coeficientes que definen el polinomio de grado 4.

También, al igual que en el caso de la calibración en radiancia, se debe obtener el error cuadrático medio del ajuste.

De igual forma, estos resultados se mostrarán al usuario y se almacenarán en el informe de calibración.

Secuencias de imágenes.

Se deben almacenar los archivos que contienen las secuencias de imágenes de cuerpo negro para cada temperatura. Se guardarán estas secuencias en el formato de archivos FITS (*Flexible Image Transport System*. *.fts) [website 10].

Estos archivos FITS contienen una cabecera en texto ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) con 2880 caracteres. Esta cabecera contiene la información básica del archivo y tiene una parte libre para información que desee guardar el propietario del mismo. En ella guardaremos la información adicional que se introdujo relativa a las calibraciones.

También se debe guardar un archivo de cabecera (*.hdr). Este archivo de cabecera es el utilizado por la aplicación ENVI, software de tratamiento y procesado de imágenes muy utilizado en el LIR, propiedad actualmente de *Exelis Visual Information Solutions* [website 12] y distribuido en España por *ESRI España* [website 13].

Listado de sucesos.

Se desea mostrar un listado de sucesos durante las calibraciones como referencia para conocer el progreso de la calibración, cuyos registros están compuestos por la hora (hora, minuto y segundo) y una descripción del suceso. Además este listado de sucesos nos dará información importante para conocer: el tiempo de la calibración, los tiempos de estabilización del cuerpo negro, etc.

En este listado se deben registrar los siguientes ítems:

- Inicio de la calibración.
- Comienzo y finalización de la estabilización del cuerpo negro en cada temperatura. Junto con la estabilización debe aparecer la temperatura ambiente de ese momento.
- Inicio de la adquisición, junto a la temperatura de esa adquisición.
- La finalización de la adquisición de la secuencia en cada temperatura.
- Finalización de la calibración.

Informe de calibraciones.

Debe generarse un archivo con la información de la calibración. Lo óptimo sería un archivo aceptado por otro software que permita utilizar la información, en especial los resultados de la calibración, como hojas de cálculo. Este archivo se generará con el formato CSV (*Comma Separated Values*. *.csv)

- Fecha de la calibración.
- Instrumentación de la calibración. Cámara y cuerpo negro y de este el modo de estabilización.
- Rango espectral.
- Puntos de calibración.
- Configuración de la adquisición realizada. Velocidad, número de imágenes y emisividad.
- Información adicional introducida.
- Resultados de calibración.
- Listado de sucesos.

3. Instrumentación y comunicación

En este apartado describiremos las características técnicas y las interfaces con LabVIEW de la instrumentación utilizada para el desarrollo de la aplicación.

Por los motivos ya analizados, el desarrollo se realizará para una cámara IR pero conviene mencionar la lista de sistemas de imagen disponibles en el LIR a los que podría adaptarse ya que son controlables con LabVIEW:

- Amber Radiance 1t. MIR (3 a 5 μm). Protocolo de comunicación: RS-422.
- Dalsa CA-D1 256T. VIS/NIR (0,4 a 1,1 μm). Protocolo de comunicación: RS-422.
- FLIR SC4000 HS. MIR (3 a 5 μm). Protocolo de comunicación: Camera Link.
- FLIR A325G. TIR (7.5 a 13 μm). Protocolo de comunicación: Gigabit Ethernet.
- Electrophysics PV 320L2ZE. 0,6 a 20 μm . Protocolo de comunicación: USB 2.0.

En cuanto a los cuerpos negros sí se han incluido en el desarrollo los dos controlables con LabVIEW.

Sería deseable, para aprovechar al máximo la aplicación de calibración, que los equipos nuevos que se fueran adquiriendo en el Laboratorio, tanto los cuerpos negros como los sistemas de imagen, fueran compatibles con LabVIEW para poder realizar su control remotamente.

3.1. Sistemas de imagen IR

Las imágenes IR que adquiere LabVIEW de la cámara pueden obtenerse de muy diferentes maneras debido a la gran variedad de protocolos existentes para comunicarse las cámaras con los ordenadores: RS-422, Gigabit Ethernet, Camera Link, etc.

Desarrollaremos la aplicación para una de las cámaras y pensando en su adaptabilidad a las demás, haciéndolo más modular con objetivo de facilitar esa adaptabilidad. En concreto se va a desarrollar para la cámara Merlin Uncooled.

3.1.1. Merlin Uncooled

Merlin Uncooled es un sistema de imagen IR diseñado por Indigo Systems Corporation, absorbido actualmente por FLIR Systems, Inc. Esta cámara está diseñada para ser sensible a la región TIR del espectro, concretamente entre 7,5 y 13,5 μm .

Los motivos para elegir esta cámara han sido que es una cámara antigua, aunque aún con mucho uso, y por ello más susceptible a cambios en la medida por su desgaste. Por este motivo se requiere su recalibrado con más frecuencia que otras cámaras. Y además su forma

de comunicarse, a través de una tarjeta de adquisición, es compartida por otras dos cámaras, *Amber Radiance* y *Dalsa CA-D1*, convirtiendo a la aplicación que vamos a desarrollar utilizable con estos sistemas simplemente configurando la tarjeta de adquisición.

Esta cámara tiene implementados los dos métodos de uniformización de los píxeles del detector.

- Corrección a dos puntos que se realiza con referencias externas, y eligiendo un tiempo de integración, generándose lo que se denominan tablas NUC, hasta 18, y que se guardan en la memoria de la cámara. Cada vez que se utilice la cámara se hará en base a una de estas tablas NUC.
- Corrección a un punto. La cámara posee un dispositivo interno, llamado *flag* o bandera, que nos proporciona una referencia baja que se sitúa delante del detector y actualiza el nivel de offset de la tabla NUC. Este proceso se realiza automáticamente cada cierto tiempo y siempre que el usuario lo desee.



Figura 11. Cámara Merlin Uncooled.

La comunicación de la cámara con el ordenador de adquisición está basada en el protocolo RS-422. Por ello posee un puerto de salida basado en este protocolo para la obtención de imágenes digitales, además de otras interfaces analógicas para visualización. Para la captura de las imágenes de la cámara en el ordenador es necesaria también una tarjeta de adquisición con el protocolo RS-422.

Las conexiones necesarias para el funcionamiento de la cámara son sólo: El cable de alimentación de la misma y el cable RS-422 entre cámara y tarjeta de adquisición.

Merlin Uncooled	
Tipo de Detector	Microbolómetros
Rango Espectral	7.5 – 13.5 μm
Tamaño de Pixel	51 x 51 μm
Tamaño de Array	320 x 240 px.
Tiempo de Integración	1 – 48 μs
Número F/#	1.3
Distancia Focal	50 mm
NE Δ T	< 100 mK
Rango Dinámico	12 bits ($ND: 0 - 2^{12}$)

Tabla 1. Especificaciones Merlin Uncooled.

3.1.2. Road Runner BitFlow

La tarjeta de adquisición utilizada es el modelo Road Runner RUN-PCI-12, de la empresa BitFlow, Inc. [website 16].

BitFlow Inc. proporciona un paquete software para el manejo y configuración de esta gama de tarjetas, denominado *BitFlow SDK*. De estas aplicaciones utilizaremos una llamada *SysReg* y con la que configuraremos la tarjeta para que pueda comunicarse e interpretar la información de la cámara que conectemos en ella. Esta configuración consistirá en:

- Elegir un archivo de configuración de cámara que contiene la información necesaria para que la tarjeta pueda interpretar la información llegada de la cámara.
- Una vez seleccionado el archivo se debe configurar los detalles del Firmware, estos parámetros de configuración deben estar todos seleccionados como *standard*, salvo el parámetro MUXAS, el cual controla la multiplexación del canal, esencialmente define la resolución de cada pixel en bits. Seleccionaremos en este parámetro la opción *Special 16 bit infrared camera modes*. [Road Runner]

Esta configuración es la primera que debemos hacer para la comunicación de la tarjeta y la cámara sea la correcta y la imagen se vea adecuadamente.

A continuación debemos establecer la comunicación entre LabVIEW y la tarjeta de adquisición. BitFlow también nos proporciona una serie de librerías con los subVIs necesarios para este fin. De estos subVIs nuestra aplicación utilizará los siguientes:

BitFlow Open.vi.

Objetivo:	Abre la comunicación con la tarjeta y crea un tipo imagen del tamaño apropiado para la cámara configurada en la tarjeta		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas	Board Number	Identificador de la tarjeta para la comunicación con ella.	UInt32
	Board Type	Tipo de tarjeta conectada	UInt32
	Border Size	Tamaño de borde en la imagen.	UInt32
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	RefBrdOut	ID para referir a la tarjeta con otros subVIs.	UInt32
	Image	Variable de tipo imagen obtenida	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

Trigger Mode.vi.

Objetivo:	Habilita o deshabilita el uso de trigger externo para la adquisición.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas	RefBrdIn	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Trigger Mode	Indica el tipo de trigger a utilizar.	UInt32
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	RefBrdOut	ID para referir a la tarjeta con otros subVIs.	UInt32
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

Setup.vi.

Objetivo:	Configura la tarjeta para la adquisición de imágenes.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas	RefBrdIn	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image In	Imagen generada por BitFlow Open.	IMAQImage
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	RefBrdOut	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image	Imagen configurada.	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

Continuous Grab.vi.

Objetivo:	Adquiere imágenes de la tarjeta de adquisición de forma continua.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas	RefBrdIn	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image In	Imagen configurada previamente.	IMAQImage
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	RefBrdOut	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image	Imagen de la cámara.	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

Stop.vi.

Objetivo:	Detiene la adquisición de imágenes de la cámara tras finalizar la adquisición de la imagen en curso.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas	RefBrdIn	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image In	Imagen adquirida de la cámara.	IMAQImage
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	RefBrdOut	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image	Imagen configurada.	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

Cleanup.vi.

Objetivo:	Libera todos los recursos usados durante la adquisición de imágenes.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas	RefBrdIn	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image In	Variable Imagen a liberar	IMAQImage
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	RefBrdOut	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image	Imagen necesaria para el cierre de la comunicación.	IMAQImage
	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

BitFlow Close.vi.

Objetivo:	Cierra la comunicación con la tarjeta de adquisición borrando las imágenes de la memoria.		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas	RefBrdIn	ID para referir a la tarjeta conectada.	UInt32
	Image In	Variable Imagen a borrar	IMAQImage
	error in	Error previo al VI.	Cluster Error
Salidas:	error out	Error tras el VI.	Cluster Error

3.2. Cuerpos negros

El Laboratorio de Infrarrojo posee actualmente tres cuerpos negros, uno de cavidad y dos extensos:

- Modelo de cavidad de Electro Optical Industries. Inc. [website 17]. EO1314, de rango entre 100°C y 900°C y emisividad $0,99 \pm 0,01$. Variable en función de la apertura.
- Modelo extenso de Santa Barbara Infrared Inc. [website 17]. (SBIR) 4006G con una superficie emisora cuadrada de 6 pulgadas de lado, con un rango entre 50°C y 600°C y emisividad $0,93 \pm 0,03$. Denominado de alta temperatura.
- Y el modelo 2004G, también de SBIR, con una superficie cuadrada de 4 pulgadas de lado y con dos modos de funcionamiento: temperatura absoluta con rango entre 0°C y 100°C y en modo diferencial, con respecto a la temperatura ambiente, con un rango de -25°C a 75°C y una emisividad $0,985 \pm 0,15$. Denominado de baja temperatura.

En cuanto a la compatibilidad con la aplicación desarrollada, hay que decir que el cuerpo negro de cavidad por su antigüedad no es posible comunicarlo con LabVIEW y por tanto no es compatible. Los cuerpos negros extensos, sensiblemente más modernos, si son compatibles con LabVIEW y por tanto con nuestra aplicación.



Figura 12. Cuerpos negros del LIR.

3.2.1. SBIR 2004G y 4006G

La comunicación y el control con estos dos cuerpos negros son, esencialmente, iguales para ambos. La única diferencia es que en el modelo 2004G se puede elegir el modo de

estabilización, si se quiere en modo diferencial o absoluto. El modelo 4006G sólo tiene el modo absoluto.



Figura 13. Cuerpo Negro SBIR 2004G.

La comunicación física con estos cuerpos negros es a través del bus de datos estándar GPIB (*General Purpose Instrumentation Bus*). Ambos incluyen un terminal para conectar un dispositivo que gestione la comunicación con este estándar. A su vez National Instruments nos proporciona el dispositivo GPIB-USB para establecer la conexión con un ordenador.



Figura 14. Dispositivo GPIB-USB.

La comunicación lógica con los cuerpos negros se hace bajo el estándar VISA, que puede implementarse sobre dispositivos GPIB y USB, así como otros muchos.

A continuación describimos las cadenas de caracteres que serán necesarias pasar como parámetro a los subVIs del paquete NI-VISA para enviar o solicitar información a los cuerpos negros SBIR.

*R	Indicar que se toma el control de forma remota
SD	Indicar el modo de estabilización como diferencial. (Mod. 2004G)
S2	Indicar el modo de estabilización como absoluto. (Mod. 2004G)
D+temp	Indicar la temperatura de consigna para la estabilización.
M2	Solicitar la temperatura de cuerpo negro (Mod. 2004G)
M1	Solicitar la temperatura ambiente (Mod. 2004G)
MT	Solicitar la temperatura de cuerpo negro (Mod. 4006G)
*L	Indicar que deja de controlarse de forma remota

Tabla 2. Comandos VISA para cuerpos negros.

SBIR 2004G	
Rango temperatura	-25°C a +75°C Diferencial / 0°C a 100°C Absoluto
Área Emisora	4 x 4 inch (10 x 10 cm)
Emisividad	0.985 ± 0.15, 2µm a 14 µm
Resolución	0.001 °C
SBIR 4006G	
Rango temperatura	50°C a 600°C
Área Emisora	6 x 6 inch (15 x 15 cm)
Emisividad	0.93 ± 0.03, 2µm a 14 µm
Resolución	0.1 °C

Tabla 3. Especificaciones Cuerpos Negros SBIR.

4. Desarrollo. Ejemplo de calibración

Consideradas las necesidades del laboratorio y la funcionalidad deseada, descrita por los usuarios, podemos definir tres fases bien diferenciadas en la aplicación que vamos a desarrollar. Estas son:

- Configuración del hardware. Introducir la información y ofrecer herramientas para la gestión y control de la instrumentación que interviene en la calibración.
- Configuración de la adquisición: Determinar de los puntos de calibración y configurar las adquisiciones de las secuencias: número de bandas, imágenes por segundo y emisividad, así como otra información de interés.
- Proceso de calibrado. Ejecutar las adquisiciones, gestionar y obtener datos de la instrumentación y cálculos necesarios para obtener los resultados de la calibración.

Analizaremos la aplicación desarrollada desde el punto de vista de la interfaz de usuario y de la funcionalidad.

4.1. Interfaz gráfica de usuario. GUI

Se cree que las interfaces gráficas grandes y con mucha información y valores seleccionables al mismo tiempo, siempre que no sea necesario, en general son más difíciles de manejar por el usuario, tienen menos claridad y comodidad para elegir bien los valores de entrada. Como hemos dicho esta aplicación tendrá tres fases bien determinadas, dos de configuración del proceso y una del proceso en sí.

Por estos motivos se ha decidido una estructura de pestañas de LabVIEW (*Tab Control*) con tres de ellas, una para cada fase indicada. De este modo se consigue tenerlas bien diferenciadas para el usuario.

Objetos comunes

Las tres fases, y por tanto pestañas, tendrán en común un sistema de ayuda compuesto por una caja de texto donde irá apareciendo una descripción y funcionalidad del elemento donde se encuentra el marcador del ratón.

También se dispondrá, en las tres fases, un botón *Finalizar* para la interrupción del programa en cualquier momento del mismo. Así como un botón *Siguiente* y/o *Atrás* dependiendo de la fase en la que nos encontremos si hay alguna fase anterior, posterior o ambos casos. Estos botones será el único mecanismo que permitirá el desplazamiento entre pestañas. De esta forma tendremos bien controlado cual es la pestaña activa.

4.1.1. Configuración de hardware

En esta primera fase tiene como objetivo que el usuario pueda realizar las selecciones y configuraciones del hardware involucrado en el proceso. Para ello se ha dividido esta pestaña en tres regiones:

Imagen. Visión en directo

Esta región contendrá como elemento más importante un objeto visor de imagen donde se mostrará la imagen en directo, *IMAQ Image.ctf* perteneciente a las librerías NI-IMAQ. Este control, además, contiene por defecto las herramientas para elegir ROI's en la imagen. Con la visión en directo el usuario también podrá encuadrar y enfocar el cuerpo negro en la imagen. Este visor de imagen tiene también una barra de información con las dimensiones de la imagen, el tipo de dato, la posición en píxeles del cursor y el valor de ND de dicho píxel.

Se dispondrá de un botón denominado *Ver* con el cual será posible activar o desactivar la visión en directo de la imagen y la conexión con la tarjeta de adquisición. La desconexión permitirá liberar recursos cuando ya no es necesaria la imagen en directo.

También contiene una caja de texto para poder introducir la frecuencia de visualización de la imagen. Y un indicador de la frecuencia real que se está obteniendo de la cámara. Con este dato el usuario podrá tomar decisiones a la hora de configurar las velocidades de adquisición.

Por último se muestran las estadísticas de la ROIs seleccionadas. El control de imagen nos permite seleccionar varias ROI's. La estadística generada será las calculadas a partir de la unión de todas ellas ya que los píxeles de las regiones elegidas se utilizarán durante el proceso de forma conjunta. Los valores estadísticos cuando no hay ninguna ROI seleccionada serán los de la imagen completa. Aunque poco habitual, es posible que se pueda utilizar toda la imagen en el proceso de calibración. Las estadísticas mostradas son: valor de ND medio, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo, área calibrada, si se introducen parámetros de calibración, en la magnitud correspondiente sino en píxeles, área en píxeles y porcentaje de la imagen ocupado.

Para la selección de múltiples subregiones que conformen la ROI final se debe mantener pulsada la tecla *control* del teclado cuando se dibujan.

Cuerpo negro

Región compuesta por dos selectores, uno para seleccionar el cuerpo negro que se va a utilizar en la calibración y otro para elegir el modo de estabilización.

El indicador de modo sólo quedará activo si se tiene seleccionado el CN 2004G. Además si se selecciona el modelo 4006G, automáticamente se selecciona el modo absoluto en el indicador de modo.

Nombre de archivo.

Contendrá un objeto de tipo ruta de archivo que contiene la ruta completa del archivo base seleccionado y un botón para lanzar el dialogo de Windows con el que elegir el nombre de archivo desde un explorador. Este campo inicialmente aparecerá con la ruta "D:\Calibración".

En la *figura 15* podemos ver la configuración hardware, pestaña de Fase 1, para una calibración de ejemplo. Se puede observar la región de interés elegida dentro del cuerpo negro en la imagen de color verde. El dato interesante de desviación estándar es de 4,33, es aceptable dentro del rango de la cámara. Se ha elegido el CN 2004G en modo absoluto.

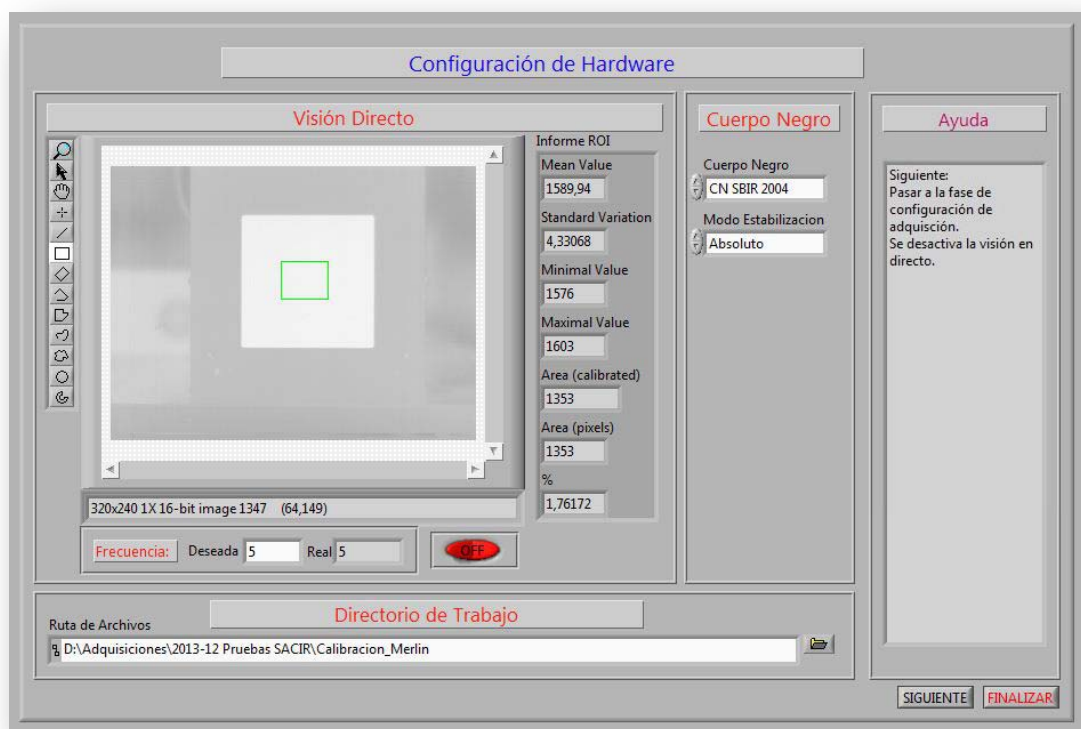


Figura 15. Interfaz de usuario. Fase 1. Configuración hardware.

4.1.2. Configuración de adquisición

En esta segunda fase se procede a la configuración de las adquisiciones, introducción de la información adicional y selección de las longitudes de onda para el cálculo de radiancia.

Configuración de medidas

Contendrá el listado de las temperaturas, o puntos, de calibración. Para generar estas temperaturas de calibración de forma automática a partir de los valores extremos, se dispone de tres selectores de valores donde se puede indicar: las temperaturas inicial y final, y el incremento. Para este cálculo de temperaturas se dispone de un botón *Calcular* que al accionarse muestra las temperaturas calculadas en el listado y el total de temperaturas en un indicador.

Además tendremos tres listados que mostrarán, para cada temperatura calculada, el número de bandas de la secuencia adquirida, la velocidad de adquisición y la emisividad. La emisividad no es necesaria para la adquisición de secuencias pero como es un parámetro que se elige para cada temperatura, y se tratará en la aplicación de forma paralela a los otros 4 listados, hemos considerado más correcto y fácil de seleccionar colocándolo en esta fase.

Estos listados aparecen inicialmente vacíos y deshabilitados. Cuando se utiliza el botón de calcular temperaturas se inicializan.

También contiene un botón para cada uno de los tres listados denominados *Todas* y cuya función es asignar el valor indicado en la primera temperatura a todas las demás.

Se dispondrá de un botón, que afecta a los cuatro listados, cuya finalidad es borrar la configuración, reiniciando los cuatro listados con valores 0.

Información opcional

En esta región de la pestaña se podrán introducir una serie de campos con su valor correspondiente. Por defecto se muestran 4 campos que se podrían rellenar que son: filtro, NUC, distancia focal y distancia de medida. Pero al igual que el resto de campos disponibles son opcionales, modificables o borrables.

Rango espectral

En este último apartado elegiremos las longitudes de onda que marcan la ventana con la que se está trabajando. En el caso de la cámara Merlin Uncooled, sin filtro, estos valores son: 7,5 μm como longitud de onda inicial y 13,5 μm como longitud de onda final.

En la *figura 16* podemos ver una configuración de las adquisiciones, pestaña 2. Se han elegido el rango de temperaturas de 20 a 40 con un incremento de 5 entre ellas, obteniéndose así 5 puntos de calibración. Los parámetros de adquisición, emisividad y longitudes de onda son las que se generan por defecto cuando se eligen las temperaturas.

Figura 16. Interfaz de usuario. Fase 2. Configuración de adquisición.

4.1.3. Proceso de calibrado

Esta tercera pestaña, y por tanto la de la fase final, se dispondrá del botón *Calibrar* que será el encargado de lanzar la calibración y finalizar el programa tras acabar el proceso.

También debe contener los elementos necesarios para mostrar la información de progreso en tiempo real, y los resultados al finalizar los cálculos.

Progreso

Contiene un cuadro de texto donde se irán mostrando la lista de sucesos según se van produciendo.

También tendremos dos visores de temperatura, absoluta y ambiente, donde se irán mostrando estos valores, devueltos por el cuerpo negro, en cada comprobación de estabilidad.

Resultados

Se mostrarán en dos grupos de indicadores los resultados de ambas calibraciones. Estos son:

- Calibración en Radiancia: Ganancia, offset y error cuadrático medio del ajuste lineal.
- Calibración en Temperatura: los 5 coeficientes del polinomio y el error cuadrático medio del ajuste polinómico.

En ambos casos el ajuste está basado en la clásica técnica de mínimos cuadrados y en ambos casos se obtiene minimizando el error cuadrático medio:

$$\text{error cuadrático} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} w_i (f_i - y_i)^2$$

Donde n es el número de puntos, w_i es el peso del punto i -ésimo (en nuestros casos siempre es 1), f_i es el mejor valor de ajuste en el punto i -ésimo y y_i es el elemento i -ésimo de los valores de y .

En la *figura 17* podemos ver la pestaña de *Proceso de Calibrado* tras finalizar la calibración. Se pueden observar los resultados de ambas calibraciones y el listado de sucesos que se han ido produciendo.

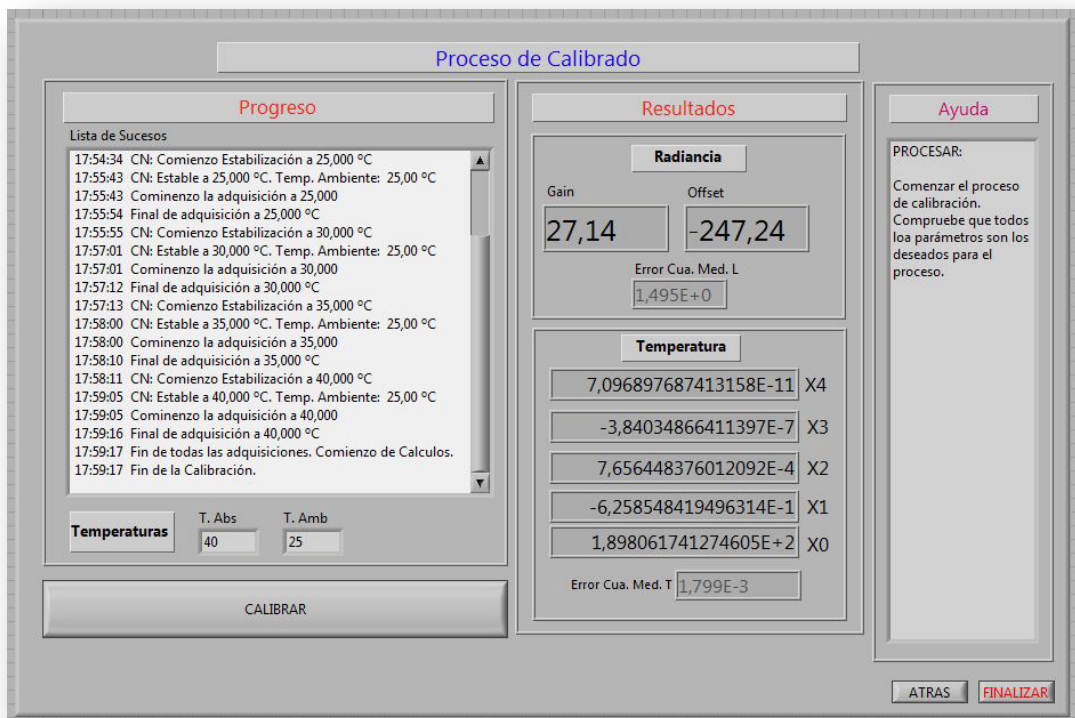


Figura 17. Interfaz de usuario. Fase 3. Proceso de Calibrado.

4.2. Funcionalidad

En este apartado vamos a describir la funcionalidad de la aplicación; es decir, lo desarrollado en el diagrama de bloques de LabVIEW.

Cada operación realizada por un subVI se indicará el nombre de este entre corchetes, por ejemplo: [VerDirecto.vi]

Para mantener activa la aplicación mientras se desee, toda nuestra programación, excepto unas inicializaciones previas, estará dentro de un *While Loop*. Estas inicializaciones se implementarán antes de ese bucle para que estén asignadas al cargar la interfaz de usuario, incluyendo la configuración inicial de esta.

El sistema de ayuda, de igual funcionamiento para todas las fases, estará controlado por *Event Structures* en cada fase. El evento disparador en este caso será *Mouse Enter* en cada objeto de la GUI, mostrando una descripción de la finalidad y funcionalidad del objeto donde ha entrado el ratón.

Seguidamente, dentro del *While Loop* encontraremos tres *Case Structure*, de tipo booleano, que contendrán las tres fases principales del programa. Y que se activan y desactivan dependiendo de la fase en la que nos encontremos y con ello liberaremos recursos como la conexión con la cámara de la visualización en directo, no comprobar en todo momento las condiciones de las *Case Structures* dentro de cada fase, etc.

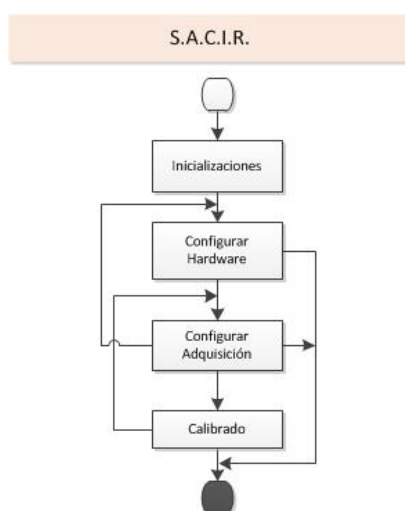


Figura 18. D.F.D. Programa principal.

Las inicializaciones previas son:

- **Declarar el array *Informe***, que contendrá las informaciones que registraremos en el archivo CSV. Añadiremos en el array el registro de la fecha de la calibración y la cámara, en este caso la cámara Merlin Uncooled.

- **Declarar el array *Sucesos*** y añadir el inicio del programa en la lista de sucesos. Para registrar los sucesos debe unirse la hora en ese momento y el suceso en sí. [SucesoTemp.vi].
- **Declarar el objeto *Tab Control***. Y asignar en la propiedad *Value* del *Tab Control* el valor 0. Lo asignamos mediante un tipo enumerado y 0 corresponde a *Config. Hardware*. Esta propiedad marca la pestaña visible en cada momento.
- **Ocultar pestañas de *Tab Control***. Asignar en la propiedad *PageSelVis* del *Tab Control* el valor *False*. Indica la no visualización de las pestañas en el control.
- **Activar Fase 1**. Asignar a la variable *Entrada Hard* el valor *True* para que la *Case Structure* de configuración hardware quede activa.
- **Desactivar Fase 2 y 3**. Asignamos *False* a las variables *Entrada Adquis* y *Entrada Proceso* para mantener inactivas las dos *Case Structures* de las otras fases.
- **Desactivar visión en directo**. Asignamos *False* a la variable *Ver* para mantener inicialmente inactivo el visor en directo.
- **Asignar la ruta por defecto**. Esta será "D:\Calibracion" en la variable *Ruta de Archivos*.
- **Declarar las variables *Dimension X* y *Dimension Y***. Son necesarias cuando se active el visor en directo.

4.2.1. Configuración de hardware

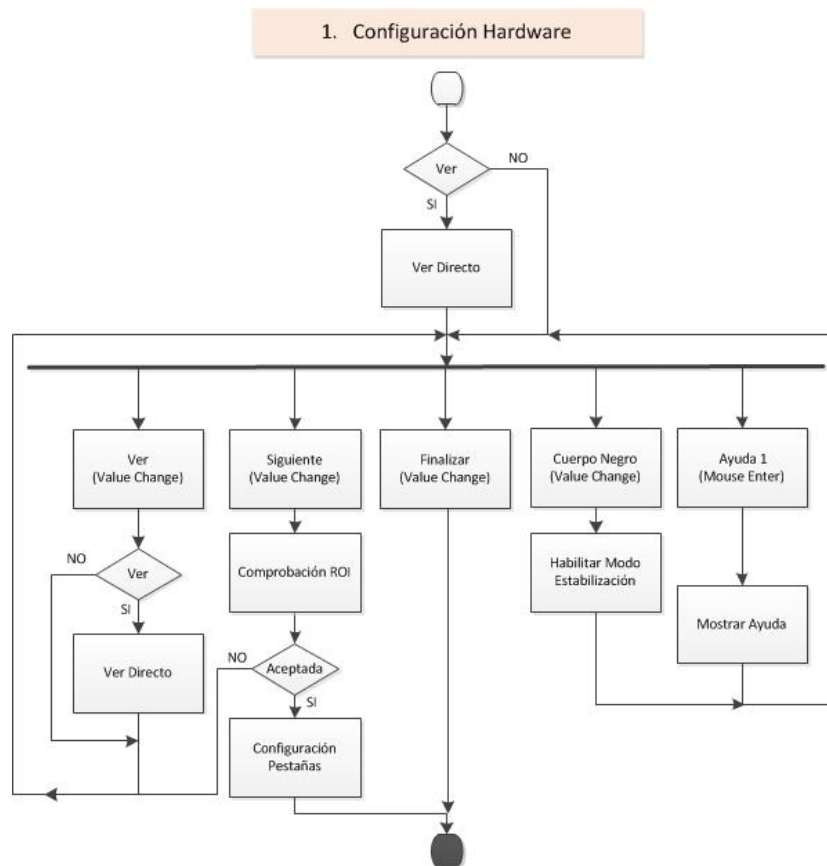


Figura 19. D.F.D. Configuración de hardware.

La primera instrucción al iniciar la entrada de esta fase es lanzar un dialogo al usuario preguntándole si quiere conectar con la cámara en ese momento o no. Asignando a la variable *Ver* el valor recibido del dialogo. Y por tanto activar el visor en directo o no.

Creamos la variable *Mascara ROI* de tipo *IMAQImage* de 8 bits por pixel donde se almacenará la información de la ROI. Será una imagen cuyos pixeles que pertenezcan a la ROI contendrán el valor 1 y 0 los que no pertenezcan.

Dentro de un *While Loop* encontraremos una *Case Structure* para la visualización en directo y una *Event Structure* para la gestión de los eventos generados por los botones que contiene y la ayuda. Hay que tener en cuenta que el subdiagrama de un evento se ejecuta una vez cuando se produce el evento, sin embargo el subdiagrama de visualización de la imagen queremos que se repita de forma continua mientras este activo.

Aunque el proceso de visualización se desarrolla en una estructura diferente para controlar su continua ejecución, conceptualmente se puede esquematizar como un evento, el cambio de valor del botón *Ver*.

Botón Ver

La funcionalidad de este botón es cambiar el valor de *Ver* y por tanto activar o desactivar la visualización en directo, como decíamos contenida dentro de una *Case Structure*. Si el nuevo valor es *True* se activa la estructura. Si el valor es *False* se desactiva.

Las operaciones dentro de esta *Case Structure* son:

- **Calcular periodo.** Capturar la frecuencia elegida, el valor de *F. Deseada*, y transformarla y guardarla en *Periodo*. Recordamos que el bucle *Time Loop*, que será el que maneje la visión en directo, requiere como entrada el periodo. [FrecuenciaToPeriodo.vi]
- **Visualizar la imagen.** [VerDirecto.vi]
 - **Iniciar conexión.** Configurar y crear la conexión con la tarjeta de adquisición.
 - **Capturar y mostrar.** En bucle, mientras este activo el botón *Ver* y con el periodo calculado, se captura y muestra la imagen en *Imagen Directo* y se calcula y muestra la velocidad real, *F. Real*.
 - **Finalizar conexión.** Cuando *Ver* pasa a *False* y finaliza el bucle, se cierra la conexión con la tarjeta.
- **Capturar dimensiones.** Extraer de *Imagen Directo* el tamaño de la imagen y guardarlo en *Dimension X* y *Dimension Y*.
- **Guardar ROI.** Se captura los datos que definen la ROI dibujadas y se guardan en *ROI*.
- **Guardar ROI Inicial.** Se guarda en *ROI Ini* los datos que definen una ROI de la imagen completa.
- **Capturar estadísticas** de las ROIs dibujadas en el objeto de imagen y mostradas en el objeto *Informe ROI*.
- **Generar las estadísticas** de la ROI. [EstadisticasROI.vi].
 - **Crear Mascara.** En la variable *Imagen Mascara*, a partir de la información de *ROI*, se crea la máscara.
 - **Obtener estadísticas.** Con la máscara y la imagen multiplicadas podemos calcular las estadísticas.

A continuación analizaremos la descripción de los eventos implementados en la *Event Structure*; estos son:

Value Change. Selector Cuerpo Negro.

Si el nuevo valor es *CN SBIR 2004G* se habilita el selector de modo de estabilización.

Si es *CN SBIR 4006G* se deshabilita el selector de modo de estabilización y le asignamos en valor *Absoluto*.

Value Change. Botón Siguiente

- **Comparar ROIs.** la ROI seleccionada con la ROI inicial, [ROI'Siguales.vi]. Si son iguales significa que no se ha seleccionado ninguna ROI en cuyo caso se lanzará una advertencia permitiendo continuar o no. Si se decide no continuar se vuelve a la espera de eventos. Si se decide continuar procede como sigue:
- **Activar Fase 2.** Activa la fase de configuración de la adquisición cambiando *Entrada Adquis* a *True*. Variable asignada a su *Case Structure*.
- **Desactivar Fase 1.** Desactiva la fase actual cambiando a *False* la variable *Entrada Hard*, de su propia *Case Structure*.
- **Visualizar pestaña activa.** Asigna el valor *Config. Adquisición*, valor 1 del enumerado, a la propiedad *Value* del *Tab Control* para que sea la configuración de adquisición la pestaña visualizada en la GUI.

Value Change. Botón Finalizar

Lanzar un dialogo de confirmación al usuario. En caso de aceptar la finalización se detiene la aplicación.

4.2.2. Configuración de adquisición

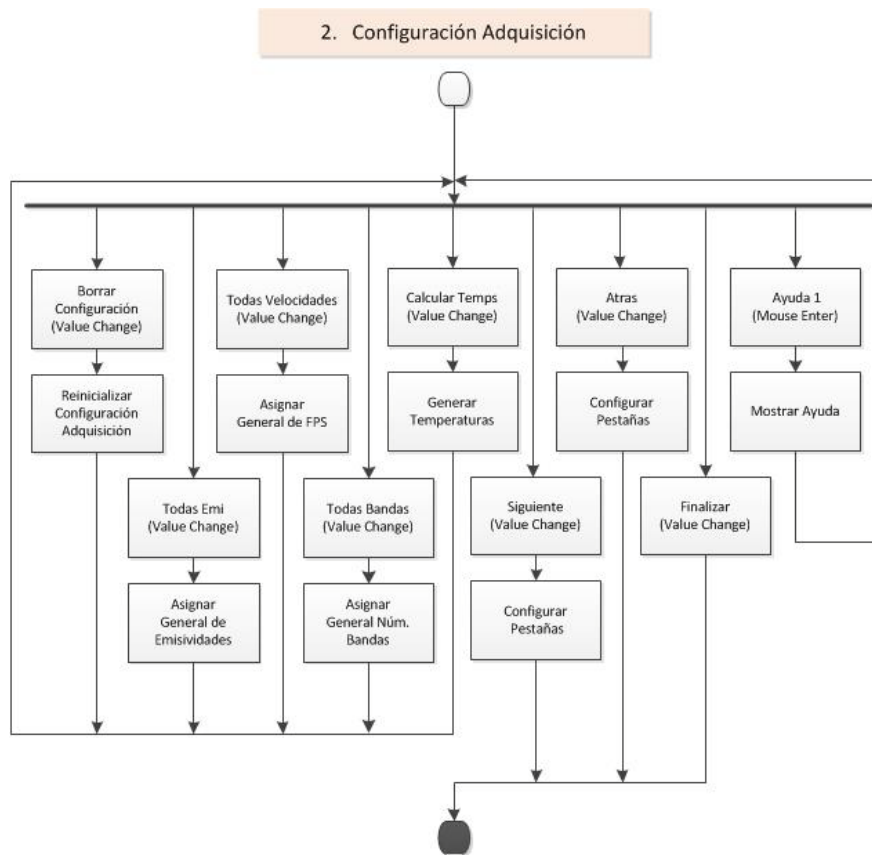


Figura 20. D.F.D. Configuración de adquisición.

Esta fase, dentro de su *Case Structure* que determina si se activa o no, contiene un *While Loop* que la mantiene activa. A su vez dentro de éste tendremos una *Event Structure* que permanecerá a la espera a que se produzca un evento. Estos eventos, asociados a los objetos descritos en la interfaz de usuario, definirán toda la funcionalidad de la fase. Son los siguientes:

Value Change. Botón Borrar Configuración.

Asignar 0 a todos los elementos de los 4 arrays. *Temperaturas*, *Bandas Velocidades* y *Emisividades*

Value Change. Botón Todas Emisividades

Asignar a todos los elementos del array *Emisividades* el valor que contiene el índice 0 del propio array.

Value Change. Botón Todas Velocidades

Asignar a todos los elementos del array *Velocidades* el valor que contiene el índice 0 del propio array.

Value Change. Botón Todas Bandas

Asignar a todos los elementos del array *Bandas* el valor que contiene el índice 0 del propio array.

Value Change. Botón Calcular Temperaturas

- **Capturar los parámetros** temperatura inicial, *T^a Inicial*, temperatura final, *T^a Final*, e incremento, *Incremento*.
- **Calcular temperaturas.** [CalculoNumTemps.vi]. Calcula todas las temperaturas del rango que definen los parámetros capturados y se almacenan en el array *Temperaturas* y se muestran en la GUI.
- **Inicializar configuración.** Por último, se inicializan los tres listados de configuración, *Bandas*, *Velocidades* y *Emisividades*, con tantos ítems en cada uno como temperaturas calculadas, con valores de, 50 en el número de bandas y 5 en las velocidades. En el caso de la emisividad se inicializan con valores dependientes del CN utilizado, 0,985 para el caso del 2004G y 0,93 para el 4006G. Con estos valores de velocidad y número de bandas se obtienen los 10 segundos requeridos sin generar archivos muy pesados.

Value Change. Botón Siguiente

- **Activar Fase 3.** Activa la fase de procesado cambiando *Entrada Proceso*, variable asignada a su *Case Structure*, a *True*.
- **Desactivar Fase 2.** Desactiva la fase actual cambiando a *False* la variable *Entrada Adquis* de su propia *Case Structure*.
- **Visualizar pestaña activa.** Asigna el valor *Calibrado*, valor 2 del enumerado, a la propiedad *Value* del *Tab Control* para que sea la pestaña de procesado la visualizada en la GUI.

Value Change. Botón Atrás

- **Activar Fase 1.** Activa la fase de configuración hardware cambiando *Entrada Hard*, variable asignada a su *Case Structure*, a *True*.
- **Desactivar Fase 2.** Desactiva la fase actual cambiando a *False* la variable *Entrada Adquis* de su propia *Case Structure*.

- **Visualizar pestaña activa.** Asigna el valor *Config. Hardware*, valor 0 del enumerado, a la propiedad *Value* del *Tab Control* para que sea la pestaña de configuración hardware la visualizada en la GUI.

Value Change. Botón Finalizar

Se lanza un dialogo de confirmación al usuario. En caso de aceptar la finalización se detiene la aplicación.

4.2.3. Proceso de calibrado

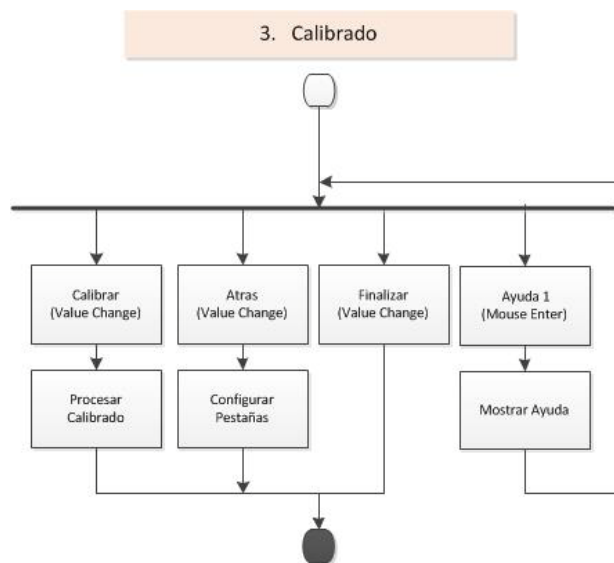


Figura 21. D.F.D. Calibrado.

Dentro de la fase de procesado encontramos una *Case Structure* y una *Event Structure*. La primera contendrá el proceso de calibrar, y la segunda los eventos a controlar. Estos eventos implementados, además de la ayuda, son:

Value Change. Botón Atrás

- **Activar Fase 2.** Activa la fase de de configurar la adquisición cambiando *Entrada Adquis*, variable asignada a su *Case Structure*, a *True*.
- **Desactivar Fase 3.** Desactiva la fase actual cambiando a *False* la variable *Entrada Proceso* de su propia *Case Structure*.

Visualizar pestaña activa. Asigna el valor *Config. Adquisicion*, valor 1 del enumerado, a la propiedad *Value* del *Tab Control* para que sea la pestaña de configuración de adquisición la visualizada en la GUI.

Value Change. Botón Finalizar

Se lanza un dialogo de confirmación al usuario. En caso de aceptar la finalización se detiene la aplicación.

Aunque el proceso de calibrar se desarrolla en una estructura diferente para controlar el orden de su ejecución, conceptualmente, como pasaba con el botón *Ver*, se puede esquematizar como un evento, el cambio de valor del botón *Calibrar*.

Proceso Calibrar

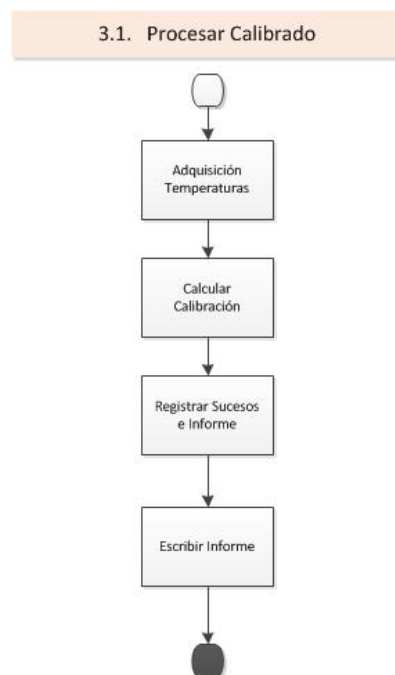


Figura 22. D.F.D. Procesar Calibrado.

El proceso de calibrar está contenido en otra *Case Structure*, la que se activa si se comprueban como buenas las longitudes de onda.

- **Comprobar longitudes de onda.** En primer lugar realiza una comprobación de validez de las longitudes de onda. La longitud de onda final debe ser estrictamente mayor que la longitud de onda inicial. Si la comprobación es negativa se lanza un aviso al usuario y no se continúa con el proceso de calibrado volviendo a la línea de espera de eventos. Si la comprobación es positiva sí inicia el proceso de calibrar.

El proceso de calibrar está contenido en otra *Case Structure*, la que se activa si se comprueban como buenas las longitudes de onda. A su vez en el interior encontramos una *Flat Sequence Structure* para tener control temporal sobre los subdiagramas a

ejecutar. Esta estructura contendrá 6 *frames*, (ver apartado 1.4.1.) que son los siguientes, los dos primeros los analizaremos con más detalle:

- **Adquirir las secuencias.**
- **Calcular los resultados.**
- **Registrar suceso y en informe.** Indicar el ítem de finalización de calibración en *Sucesos*. Escribimos en el array *Informe* toda la información de resultados obtenidos en el *frame* anterior.
- **Registrar sucesos en Informe.** Escribir en el array *Informe* la lista de sucesos obtenidos durante todo el proceso.
- **Escribir Informe.** Escribir a un fichero la información registrada en el array *Informe*. Añadir la extensión de archivo base a .csv y escribir en él la información.
- **Finalizar la aplicación.**

4.2.3.1 Adquisición de Temperaturas

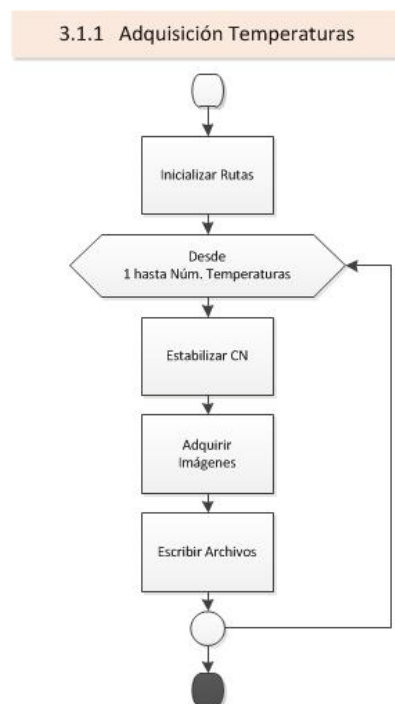


Figura 23. D.F:D. Adquisición de Temperaturas.

La adquisición de temperaturas, a su vez, se puede dividir en tres subprocesos principales: estabilización del CN, adquisición de secuencias y escritura de los archivos. Los tres estarán contenidos en un *For Loop* con tantas iteraciones como temperaturas se han establecido en la configuración.

Previamente al bucle se debe realizar las siguientes operaciones:

- **Inicializar el array de *Rutas de Archivos*** para almacenar las rutas de los archivos de secuencias, que serán cargadas posteriormente para el proceso de cálculo.
- **Registrar en Informe.** Registrar el cuerpo negro utilizado y el modo de estabilización en el caso de ser el modelo 2004 en el array *Informe*.
- **Registrar en Informe.** Almacenar el rango espectral, *L.O. Inicial* y *L.O. Final*, utilizado en el array *Informe*.

Dentro del *For Loop*, encontramos un *While Loop*, cuya condición de salida es que se hayan cumplido la condición de cuerpo negro estable y completada la adquisición. *Acabada Adqui* y *Estable CN* contiene *True*.

- **Registrar en informe.** Antes del *While Loop* se registra en el array *Informe* los datos de adquisición, temperatura, velocidad, número de bandas y emisividad, correspondiente a la iteración de esta temperatura.

Dentro del *While Loop* encontramos en primer lugar la estabilización del cuerpo negro. A continuación una *Case Structure* que contiene la adquisición de secuencias y que se activa cuando se cumple la condición de cuerpo negro estable, *Estable CN* es *True*. A su vez dentro de esta encontramos otra *Case Structure* que contiene la escritura de ficheros y cuya condición de activación será la finalización de la adquisición, *Acabada Adqui* es *True*.

Estabilización de CN

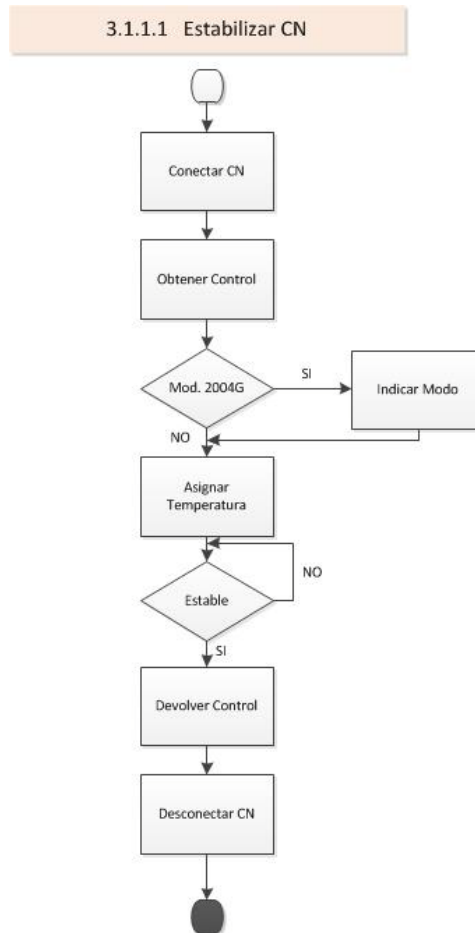


Figura 24. D.F.D. Estabilizar cuerpo negro.

Previamente a este proceso de estabilización se debe realizar los siguientes procesos:

- **Registrar suceso:** Se escribe en el array *Sucesos* el hecho de comenzar la estabilización.
- **Crear el nombre de archivo** añadiendo la temperatura correspondiente al nombre base elegido.

Este proceso, [EstabilizadorCN's.vi], se implementará en una *Flat Sequence Structure*. Como es un proceso que implica conexiones a instrumentación se debe controlar el orden de las instrucciones para que no se produzcan errores en la información o en la comunicación que podrían darse en el caso de ser una ejecución no controlada. Los pasos dentro de esta *Flat Sequence Structure* serán:

- **Conectar con el dispositivo.** Se indicará un tiempo de espera para la conexión de 2000 ms, mínimo tiempo necesario para asegurar la conexión si todas las conexiones son correctas.
- **Obtener el control del dispositivo.** Se le indica al dispositivo que desde momento las instrucciones las recibirá de forma remota. Para ellos debemos pasarle el parámetro “*R”
- **Indicar el modo de funcionamiento.** Sólo se indica el modo en el caso de trabajar con el modelo 2004G en cuyo caso hay que indicarle al CN si el modo es absoluto, pasándole el parámetro “S2”, o si es en modo diferencial en cuyo caso el parámetro será “SD”. El modo por defecto y único del modelo 4006 es modo absoluto.
- **Indicar la temperatura de consigna.** Se comunica al dispositivo la temperatura de consigna indicada con el parámetro “D” junto con la temperatura. Esta temperatura debe ser convertida a tipo *string* con el número de decimales correcto para cada modelo de CN, 3 para el 2004G y 1 para el 4006G.
- **Generar un retardo.** Se genera una espera de 500 ms para asegurarnos que el CN ha puesto en marcha la instrucción de iniciar la estabilización y poder pedirle información sin lugar a error.
- **Esperar la estabilización.** [ComprobarEstableSBR.vi] Se implementa un *While Loop* cuya condición de finalización será que el CN devuelva como estado estabilizado. En cada interacción, con los parámetros “M2” y “M1”, nos devolverá la temperatura ambiente y la temperatura de cuerpo negro en ese momento. [LecturaTempSBIR.vi]
- **Devolver el control del dispositivo.** Se le indica al dispositivo que desde momento deja de recibir instrucciones de forma remota. Para ellos debemos pasarle el parámetro “*L”
- **Desconectar con el dispositivo.** Desconectamos la comunicación con el cuerpo negro.

Adquisición de imágenes

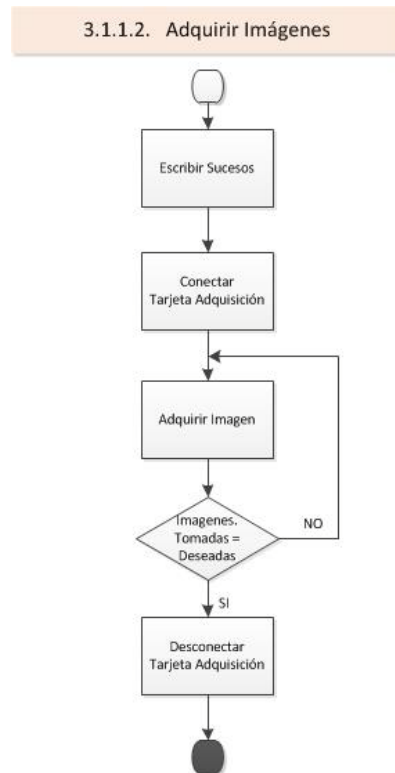


Figura 25. D.F.D. Adquirir imágenes.

Previamente al proceso de adquisición se debe realizar las siguientes opciones

- **Registrar suceso:** Se escribe en el array *Sucesos* el hecho de que el CN está estable y que se comienza la adquisición.

Dentro de la adquisición de imágenes, [CapturadorBF.vi], se producen los siguientes pasos:

- **Conectar con el dispositivo.** Conectar con la tarjeta de adquisición para la obtención de imágenes de ella. [BitFlowInit.vi]
- **Cálculo de periodo.** A partir de la frecuencia elegida para la temperatura correspondiente se calcula el periodo. [FrecuenciaToPeriodo.vi]
- **Adquirir las imágenes.** Esto se produce dentro de un *Timed Loop* a cuyo parámetro *dt (delay time)* le pasamos el periodo. En cada iteración del bucle capturaremos una imagen que guardaremos en el array de la secuencia. La condición de finalización del bucle será que el número de imágenes adquiridas sea igual a las deseadas.

- **Desconectar con el dispositivo.** Desconectamos la comunicación con la tarjeta de adquisición. [BitFlowEnd.vi]

Escritura de fichero

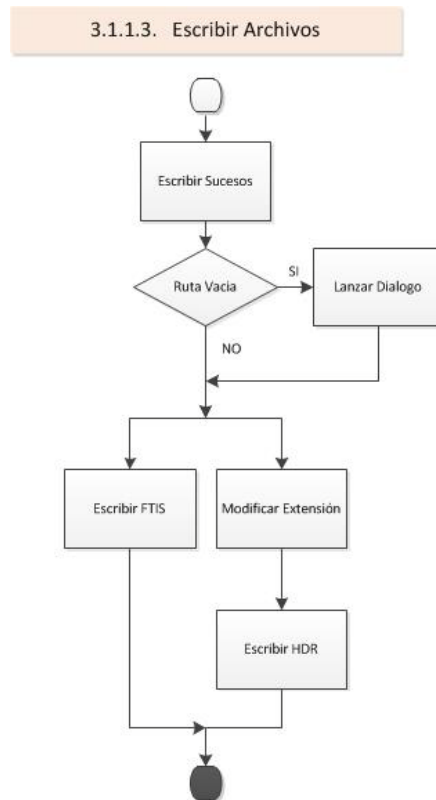


Figura 27. D.F.D. Escribir archivos.

Como en los casos anteriores, previamente, se ejecuta algunas operaciones:

- **Registrar en Informe** la información adicional de la calibración incluida en la cabecera de los archivos FITS.
- **Registrar suceso.** Se guarda en el array *Sucesos* el hecho de acabar la adquisición.

En el proceso de escritura de ficheros, [SaveFITSHDR.vi], se seguirán los siguientes pasos:

- **Comprobar Ruta.** Se comprueba que la ruta de archivo recibida no está vacía y si está vacía se lanza un dialogo para seleccionar una ruta y nombre de archivo.
- **Escritura FITS.** Se escribe a disco el archivo que contiene la secuencia con la información adicional de la calibración.

- **Extracción de Dimensiones.** Se obtienen del array las tres dimensiones del mismo, necesarias para incluirlas en el archivo HDR. [ExtraerDims3D.vi]
- **Cambiar Extensión.** Se cambia la extensión en el nombre del archivo a .HDR. [CambiarExtension.vi]
- **Escribir HDR.** Se escribe a disco el archivo HDR. [EscribirHDR.vi]. Podemos ver un ejemplo de este tipo de ficheros para una calibración típica en la *figura 26*.

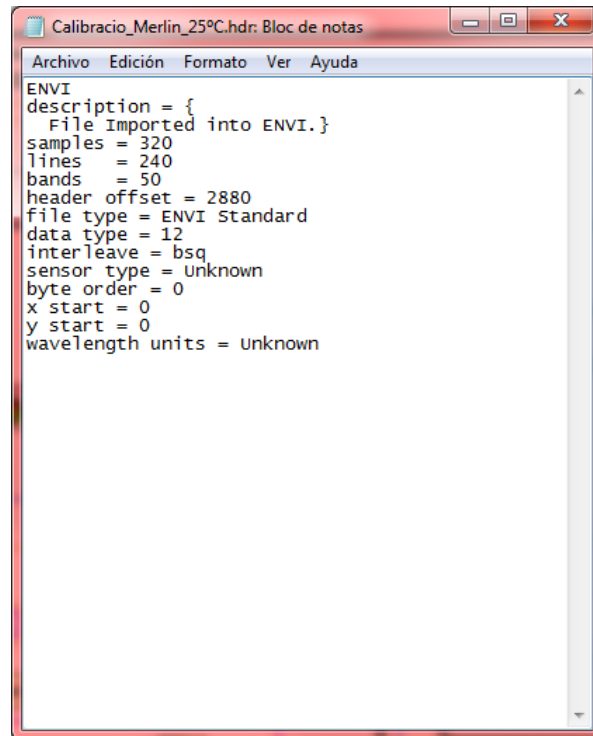


Figura 26. Archivo de cabecera HDR.

4.2.3.2. Calcular Resultados

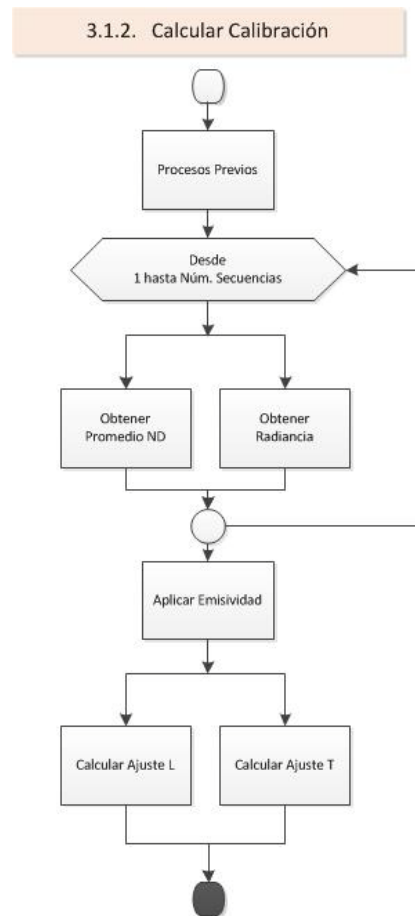


Figura 28. D.F.D. Calcular calibración.

Tras finalizar la fase de adquisición de imágenes se pasa al frame de la *Flat Sequence Structure* que contiene el subdiagrama para calcular la calibración. [Calibrado.vi]

Para la apertura de los archivos de secuencias y su utilización en esta parte del proceso, aunque podría hacerse directamente con instrucciones de LabVIEW, utilizamos los archivos de cabecera HDR aprovechando para desarrollar los subVIs que realizan la operación de abrir y leer esta cabecera y así poderse reutilizar los subVIs en otras aplicaciones que manejen imágenes que estén acompañadas de ese tipo de archivo, además de generar un procedimiento general para todo tipo de archivos de imagen. Este archivo de cabecera es muy utilizado en el LIR.

- **Escribir Suceso.** Se registra en el array *Sucesos* el hecho de iniciar los cálculos.
- **Inicializar Array.** Se inicializa el array *Array Medias ND* que contendrá los promedios de ND para cada temperatura.

Se implementa un *For Loop* que se ejecuta para cada temperatura del proceso. Y contiene dos acciones principales

- **Obtener Promedio ND.** [MediaSecuenciaROI.vi]. Para este proceso debemos abrir los archivos de secuencia previamente guardados para cada temperatura. Podemos definir los siguientes subprocesos:
 - **Obtener las dimensiones** de la imagen. [ObtenerInfoHDR.vi]
 - **Crear una imagen máscara** de ROI, esto es crear una imagen cuyos valores serán 1 para píxeles contenidos en la ROI y 0 los que no.
 - **Cargar bandas.** Con un *For Loop* que cubre todas las bandas de la secuencia y aplicando la máscara, se cargan los valores de ND de cada banda. [CargarBandaFTS.vi]. Para la carga de cada banda desde el fichero se debe saber cuántos bytes se deben saltar para obtener esa banda concreta. [CalculaBytesPreBanda.vi]
 - **Promediar.** Por último se promedia el valor en las tres dimensiones.
- **Obtener Radiancia.** Con las longitudes de onda inicial y final y la temperatura se calcula la radiancia asociada a esa temperatura mediante la aplicación de la integral de la ley de Planck. [IntegralPlanck.vi]

Finalizado el *For Loop* ya se tiene los valores de los NDs, *Array Medias ND* y el de las radiancias, *Array Radiancias*, los arrays *Temperaturas* y *Emisividades* originales. Con todos estos valores podemos proceder al cálculo de resultados.

- **Aplicar Emisividad.** Multiplicar cada radiancia de una temperatura y la temperatura misma por la emisividad correspondiente. Reduciendo estos valores en la proporción que indique este parámetro.
- **Calcular Ajuste L.** Aplicar el ajuste lineal a partir de las radiancias y los NDs obteniendo los resultados y el error, mostrándose en la GUI.
- **Calcular Ajuste L.** Aplicar el ajuste polinómico a partir de las temperaturas y los NDs obteniendo los resultados y el error, mostrándose en la GUI.
- **Escribir Informe.** Se añaden al array *Informe* los resultados obtenidos indicando el campo y el valor. Tanto los de Radiancia, ganancia offset y error, como los de temperatura, coeficientes y error. Podemos ver el informe de la calibración de ejemplo en la *figura 29*.

Sistema Automático de Calibración de Instrumentación de Imagen IR

	A	B	C	D	E
1	Fecha de Calibración 05/12/2013				
2	Cámara Merlin Uncooled.				
3	Cuerpo Negro: SBIR 2004G. Mod. Absoluto.				
4	Rango Espectral: 7,50 a 13,50 mm				
5	Filtro:	No			
6	NUC:	0			
7	Dist. Focal:	50mm			
8	Dist. Medida:	1m			
9	Temperatura	Bandas	fps	Emisividad.	
10	20	50	5	0,985	
11	25	50	5	0,985	
12	30	50	5	0,985	
13	35	50	5	0,985	
14	40	50	5	0,985	
15	Resultados Calibración:,				
16	Ganancia:	27,14			
17	Offset:	-247,24			
18	Error L:	1,495			
19	Coef 4:	7,0968976874132E-11			
20	Coef 3:	-3,8403486641140E-07			
21	Coef 2:	7,6564483760121E-04			
22	Coef 1:	-6,2585484194963E-01			
23	Coef 0:	1,8980617412746E+02			
24	Error T:	0,001799			
25	17:30:41 Inicio del Programa				
26	17:32:22 CN: Comienzo Estabilización a 20,000 °C				
27	17:34:50 CN: Estable a 20,000 °C. Temp. Ambiente: 25,00 °C				
28	17:34:50 Comienzo la adquisición a 20,000				
29	17:35:01 Final de adquisición a 20,000 °C				
30	17:35:01 CN: Comienzo Estabilización a 25,000 °C				
31	17:36:07 CN: Estable a 25,000 °C. Temp. Ambiente: 25,00 °C				
32	17:36:07 Comienzo la adquisición a 25,000				
33	17:36:17 Final de adquisición a 25,000 °C				
34	17:36:17 CN: Comienzo Estabilización a 30,000 °C				
35	17:37:35 CN: Estable a 30,000 °C. Temp. Ambiente: 25,00 °C				
36	17:37:35 Comienzo la adquisición a 30,000				
37	17:37:45 Final de adquisición a 30,000 °C				
38	17:37:45 CN: Comienzo Estabilización a 35,000 °C				
39	17:38:42 CN: Estable a 35,000 °C. Temp. Ambiente: 25,00 °C				
40	17:38:42 Comienzo la adquisición a 35,000				
41	17:38:53 Final de adquisición a 35,000 °C				
42	17:38:53 CN: Comienzo Estabilización a 40,000 °C				
43	17:39:39 CN: Estable a 40,000 °C. Temp. Ambiente: 25,00 °C				
44	17:39:39 Comienzo la adquisición a 40,000				
45	17:39:50 Final de adquisición a 40,000 °C				
46	17:39:50 Fin de todas las adquisiciones. Comienzo de Calculos.				
47	17:39:51 Fin de la Calibración.				

Figura 29. Archivo de Informe CSV abierto con Excel.

5. Conclusiones y trabajos futuros

CONCLUSIONES

Tras el desarrollo de este trabajo podemos afirmar que se han obtenido los resultados que se habían planteado inicialmente como objetivos.

- Se ha logrado reducir considerablemente el tiempo del proceso de calibración en comparación con el procedimiento utilizado hasta ahora, de aproximadamente 2 horas a unos 10 min, como se puede ver en el informe del ejemplo realizado. Excluyendo el montaje de la instrumentación. La aplicación sólo se ve limitada por el tiempo de configuración del proceso, encuadre, enfoque, selección de datos de entrada, y por el tiempo de estabilización del cuerpo negro, variable en función del modelo y la temperatura. Todos estos límites son inevitables y, obviamente, también afectaban al procedimiento anterior.
- Este desarrollo, una vez validados los resultados, nos proporciona una reducción de la tasa de errores humanos en todas las partes del proceso, especialmente en el cálculo de resultados.
- La automatización del proceso además de la reducción temporal proporciona una reducción de los costes, energéticos, de tiempo de uso de la instrumentación, etc., y la optimización de los recursos humanos al dejar de ser una tarea dedicada y poder simultanearse con otras.

TRABAJOS FUTUROS

Podemos distinguir dentro de las posibilidades que nacen a raíz de esta aplicación dos líneas de mejoras, ampliaciones del propio programa y su adaptación para la automatización de otros procesos o estudios que se realizan en el LIR.

Ampliaciones

- Como procedimiento adjunto a la calibración, usualmente, se realiza un cálculo de incertidumbres. Este cálculo es complejo y aunque depende de la instrumentación utilizada y por tanto sería repetitivo en calibraciones realizadas con instrumentos iguales, podría decidirse incluirlo en la aplicación desarrollada.
- En una calibración pueden influir una gran cantidad de factores de segundo orden, con una pequeña influencia, que no se han tenido en cuenta en este trabajo: temperatura ambiente con mayor precisión, concentración de gases en el camino óptico, emisividad espectral, transmitancia del filtro interferencial de haberlo, etc. Se podría añadir al programa la comunicación y el manejo de instrumentación que

proporcionen los factores medibles como concentración de gases, temperatura ambiente, etc.); así como los algoritmos para el cálculo de influencia de estos factores, tanto de los medibles como de los no medibles por esa instrumentación (como emisividad espectral, transmitancia del filtro, etc).

- En ocasiones se desea tener como límite superior de la calibración la temperatura de saturación de detector. Se podría desarrollar un algoritmo que determinará de forma automática el final de la calibración en función de ese nivel de saturación.
- Adaptar e implementar la aplicación en los equipos de adquisición de otras cámaras del laboratorio controlables con LabVIEW.
- Podría ser de interés la implementación del método de calibración en temperatura BRF, con el fin de validar ambos métodos por intercomparación en la utilización de los resultados.

Otros Desarrollos

- Puede desarrollarse en base a esta aplicación un calibrado “exhaustivo” en el que se calculan ganancia y offset para todos los tiempos de integración o un conjunto de ellos, lo que permitiría hacer un “mapa” de los intervalos de trabajo de cada configuración de la cámara, así como estudiar la dependencia de ganancia y offset del tiempo de integración y otros parámetros del detector.
- Una optimización del proceso que podría estudiarse, es una calibración sin estabilización de cuerpo negro, mediante la adquisición de secuencias cuasi simultáneas durante la rampa de subida del cuerpo negro, entre la temperatura inicial de calibración y la final. Podemos conocer la temperatura en cada momento de la rampa y por tanto podemos relacionarla con el ND en el momento de cada adquisición. Este método debe adquirir las secuencias a máxima velocidad para no ver comprometido los valores de ND con la variación de la temperatura en la rampa de subida y puede hacerlo, en contra de lo visto hasta ahora, porque nos evitamos el efecto rebote en el punto de estabilización.
- La automatización de adquisición podría dar lugar, siempre que la instrumentación involucrada sea controlable con LabVIEW, a la automatización de otro tipo de trabajos como: un calibrado de gases mediante el método de celda con un mezclador de gases, procedimientos de análisis no destructivo mediante fuentes de excitación, etc.

Anexo I. Diccionario de Datos.

Variables.

Nombre	Tipo	Valores posibles	Valores defecto	Descripción	F. Incluidas *1
Acabada Adqui	Boolean	True / False	False	Indica la finalización de una secuencia	3
Array Medias ND	Array Double	~15 dígitos	0	Promedios de ND de las temperaturas de calibración.	3
Array de Radiancias	Array Double	~15 dígitos	0	Radiancias calculadas para las temperaturas elegidas.	3
Array Rutas	Array F.Path		""	Rutas de los ficheros FTS Adquiridos.	3
Bandas	Array Uint16	>0	0	Núm. Bandas por adquisición	2, 3
Board Number	Uint 32	>0	0	ID tarjeta adquisición	1, 3
Border Size	Uint 32	>0	5	Tamaño borde de imagen en tarjeta adquisición	1, 3
Board Type	Uint32	>0	0	Tipo de tarjeta de adquisición	1, 3
CoefficientesPoly	Array Double	~15 dígitos	0	Coefficientes del polinomio del ajuste en temperatura.	3
Cuerpo Negro	Uint16	Enumerado	0	Modelo CN 0-2004 / 1-4006	1, 3
Dimension X	Uint16	>0	0	Dimensión horizontal de imagen	1, 3
Dimension Y	Uint16	>0	0	Dimensión vertical de imagen	1, 3
Emisividades	Array Double	0 .. 1	0	Emisividad en una temperatura	2, 3
Entrada Adqui	Boolean	True / False	False	Activador configurar adquisición	1, 2, 3
Entrada Hard	Boolean	True / False	True	Activador configurar hardware	1, 2
Entrada Proceso	Boolean	True / False	False	Activador procesado	1, 2, 3
Error Cua. Med. L	Double	>=0	0	Error del ajuste entre ND y radiancia	3
Error Cua. Med. T	Double	>=0	0	Error del ajuste entre ND y temperatura	3
Estable CN	Boolean	True / False	False	Indicador estabilidad del CN	3
F. Deseada	Double	>0	5	Frecuencia visualización directo	1
F. Real	Double	>0	0	Velocidad Real de visualización	1
Gain	Double	~15 dígitos	0	Resultado de calibración en radiancia. Ganancia	3
Imagen Directo	IMAQImage			Imagen obtenida del visor en directo.	1
Imagen Mascara	IMAQImage			Imagen máscara que contendrá la ROI	1, 3
Incremento	Uint16	>0	0	Incremento cálculo de Temps.	2
Informe	Array String		""	Datos que se escriben en fichero csv	1, 3
Info. Opcional	Array String		""	Información adicional de la calibración	1,2,3
L.O. Final	Double	0,7 .. 14	13,5	Longitud de onda final	2, 3
L.O. Inicial	Double	0,7 .. 14	7.5	Longitud de onda inicial	2, 3
Modo Estabilización	Uint16	Enumerado	0	Modo CN 0-Absoluto / 1-Diferencial	1, 3
Num. Temps	Uint16	>0	0	Núm. Temperaturas	2, 3
Offset	Double	~15 dígitos	0	Resultado de calibración en radiancia. Offset	3
Periodo	Uint32	>0	0	Periodo de visualización	1
ROI	Cluster ROI			Datos que definen la ROI seleccionada	1, 3
ROI Ini	Cluster ROI			Datos que definen la ROI inicial. La Imagen completa	1, 3
Ruta de Archivos	File path	Path	D:\Calib	Nombre base archivos generados	1, 3
Sucesos	Array String		""	Suceso ocurrido registrable	1, 3
Temperaturas	Array Double	>0	0	Temperaturas de adquisición	2, 3
Tª Abs	Double	-25 .. 600	0	Temp. Absoluta de CN	3
Tª Amb	Double	10 .. 50	0	Temp. Ambiente de CN	3
Tª. Final	Int16	-25 .. 600	0	Temp. Final rango de Temperaturas	2
Tª. Inicial	Int16	-25 .. 600	0	Temp. Inicial rango de Temperaturas	2
Velocidades	Array Double	>0	0	Velocidad de adquisición	2, 3
Ver	Boolean	True / False	False	Activador imagen directo	1
X0	Double	~15 dígitos	0	Coefficiente de grado 0. Ajuste Tª	3
X1	Double	~15 dígitos	0	Coefficiente de grado 1. Ajuste Tª	3
X2	Double	~15 dígitos	0	Coefficiente de grado 2. Ajuste Tª	3
X3	Double	~15 dígitos	0	Coefficiente de grado 3. Ajuste Tª	3
X4	Double	~15 dígitos	0	Coefficiente de grado 4. Ajuste Tª	3

Propiedades de objetos

Objeto	Tipo Objeto	Propiedad	Tipo	Valores posibles	Valores defecto	Descripción	F. Incluidas *1
TabControl	TabControl	Value	UInt32	Enumerado	0	Indica la pestaña visible. 0-Config. Hardware / 1-Config. Adquisición / 2-Calibrado	1, 2, 3
		PagSelVis	Boolean	True / False	False	Indica si es visible el selector de pestañas.	1
Lista de Sucesos	ListBox	ItemNames	Array String		""	Muestra los sucesos al usuario	1, 2, 3
Modo Estabilizacion	Enum	Value	UInt16	Enumerado		Valor de modo. 0-Absoluto 1-Diferencial	2
		Disabled	UInt16	0 .. 2	0	0-Disponible / 1-No Disponible / 2-No disponible y gris	2

*1) Fases de la Aplicación que utilizan la variable: 1- Configuración Hardware; 2- Configuración Adquisición; 3- Procesado

Anexo II. Detalle de Virtual Instruments.

Índice SubVIs

BitFlowEnd.vi	75
BitFlowInit.vi	75
CalculaBytesPreBanda.vi	76
CalculoNumTemps.vi	76
Calibrado.vi	77
CambiarExtension.vi	78
CapturadorBF.vi	78
CargarBandaFITS.vi	79
ComprobarEstableSBIR.vi	80
CrearImagenIMAQ.vi	81
EscribirHDR.vi	82
EstabilizadorCN's.vi	83
EstadisticasROI.vi	84
ExtraerDims3D.vi	85
FPSreal.vi	85
FrecuenciaToPeriodo.vi	86
IntegralPlanck.vi	86
LecturaTempSBIR.vi	87
MediaSecuenciaROI.vi	88
ObtenerInfoHDR.vi	89
ROI'Siguales.vi	89
SaveFITSHDR.vi	90
SucesoTemp.vi	90
VerDirecto.vi	91

En este listado contiene los subVIs desarrollados para la aplicación, no así los subVIs implementados e incluidos en la distribución de LabVIEW que se han utilizado, como los de las librerías opcionales ya vistos en el apartado 1.4.2.

BitFlowEnd.vi

Objetivo:	Finalizar la conexión con la tarjeta de adquisición. Liberando memoria e identificadores.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Board Number	Identificador de la tarjeta para la comunicación con ella.	UInt32
	Image	Imágenes capturadas de la cámara.	IMAQImage
	error in	No se utiliza.	
Salidas:			

BitFlowInit.vi

Objetivo:	Inicializar la conexión con la tarjeta de adquisición y obtener las imágenes de la cámara configurada en ella.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Board Number	Identificador de la tarjeta para la comunicación con ella.	UInt32
	Board Type	Tipo de tarjeta conectada	UInt32
	Border Size	Tamaño de borde en la imagen.	UInt32
	error in	No se utiliza.	
Salidas:	RefBrdOut	Identificador de la tarjeta con la que se ha comunicado.	
	Image	Imágenes capturadas de la cámara.	
	error out	No se utiliza.	

CalculaBytesPreBanda.vi

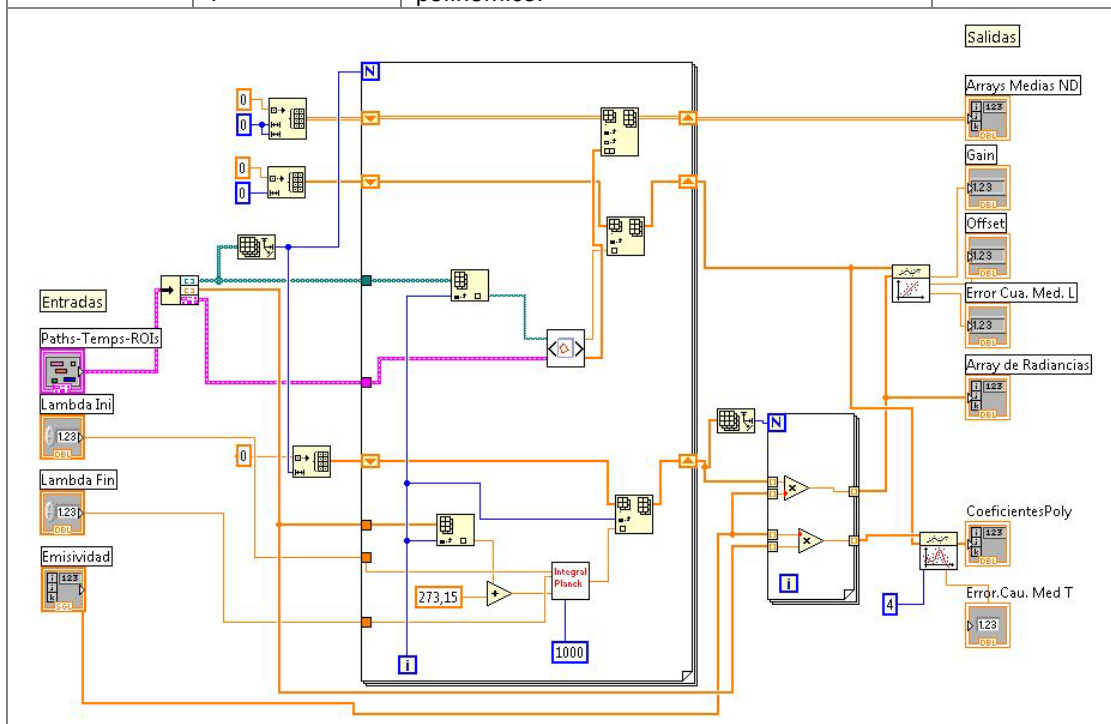
Objetivo:	Calcula los bytes que deben saltarse para extraer una banda concreta de un fichero FITS		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Banda	Numero de banda que se quiere extraer.	UInt16
	DimX	Dimension X de la secuencia del fichero.	UInt16
	DimY	Dimension Y de la secuencia del fichero.	UInt16
	BytesPixel	Numero de butes que ocupa cada pixel.	UInt16
	HeadOffset	Offset de cabecera en el fichero en bytes	UInt16
Salidas:	BytesPreBanda	Numero de bytes que se deben saltar para extraer la banda indicada.	UInt16

CalculoNumTemps.vi

Objetivo:	Obtener los valores intermedios entre un valor inicial y un valor final con un incremento dado.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Temperatura Inicial	Temperatura inicial del rango que se quiere generar.	Int16
	Temperatura Final	Temperatura final del rango que se quiere generar.	Int16
	Incremento	Incremento entre valores del rango a generar	Int16
Salidas:	Temperaturas	Array con los valores calculados.	Array Double
	Num Temps	Cantidad de valores calculados en el rango	Int16

Calibrado.vi

Objetivo:	Obtener los parámetros ganancia y offset de la calibración en radiancia, los coeficientes del polinomio de la calibración en temperatura y ambos errores		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Paths	Rutas de los archivos FITS de secuencias.	Array FilePath
	Temperaturas	Temperaturas de los puntos de calibración	Array Double
	ROI	Datos de que definen las ROI's en la imagen.	Cluster (2)
	Lambda ini	Longitud de onda inicial del rango	Double
	Lambda fin	Longitud de onda final del rango	Double
	Emisividad	Emisividades para cada temperatura.	Array Double
Salidas:	Arrays Medias ND	Promedio de ND en las tres dimensiones y en la ROI de cada secuencia de temperatura.	Array Double
	Array de Radiancias	Array que contiene las radiancias calculadas para cada temperatura aplicada la emisividad.	Array Double
	Gain	Ganancia o pendiente del ajuste lineal de calibración en radiancia	Double
	Offset	Offset o ordenada en el origen del ajuste lineal de calibración en radiancia	Double
	Error Cua. Med L.	Error cuadrático medio generado en el ajuste lineal.	Double
	CoeficientesPoly	Coeficientes del polinomio de ajuste de calibración en temperatura.	Array Double
	Error Cua. Med T	Error cuadrático medio generado en el ajuste polinómico.	Double

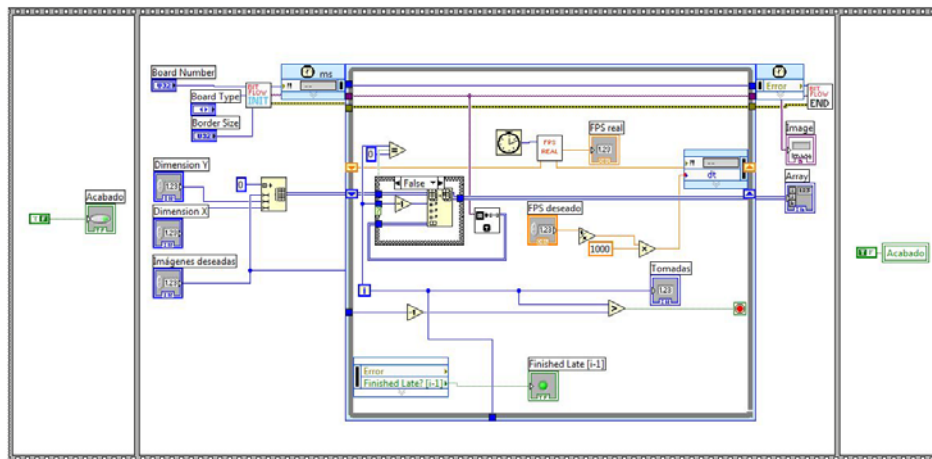


CambiarExtension.vi

Objetivo:	Cambiar la extensión de un archivo incluido en una ruta y generar la nueva ruta.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Path antiguo	Ruta original que se quiere modificar	File path
	Nueva extension	Nueva extensión que se va a asignar al fichero de la ruta.	
Salidas:	Path nuevo	Ruta modificada.	File path

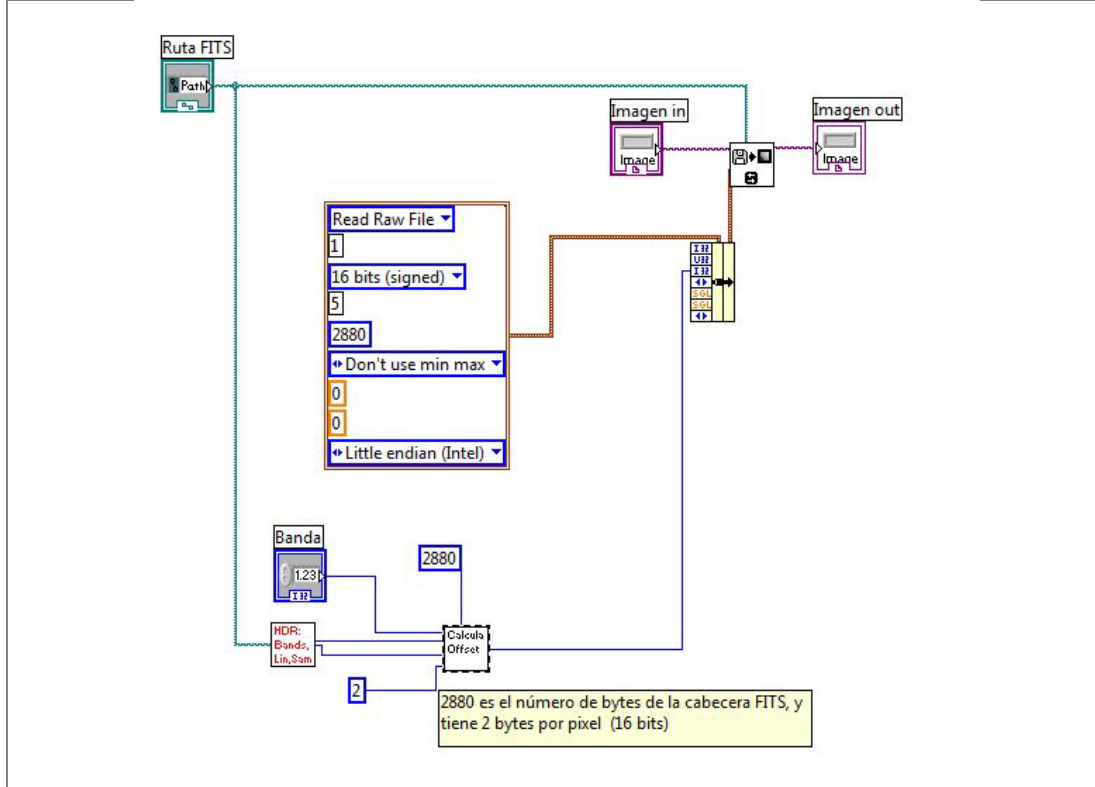
CapturadorBF.vi

Objetivo:	Capturar secuencias de una tarjeta BitFlow y almacenarlas en un array		
SubVIs:	<i>BitFlowInit.vi, FPSreal.vi, BitFlowEnd.vi</i>		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Dimension X	Dimension X de las imágenes adquiridas	Uint16
	Dimension Y	Dimension Y de las imágenes adquiridas	Uint16
	FPS deseado	Velocidad de adquisición deseada	
	Board Number	Identificador de la tarjeta para la comunicación con ella.	Uint32
	Imágenes deseadas	Numero de imágenes deseadas para la secuencia.	Uint16
Salidas:	Acabado	Valor que determina cuando ha terminado la adquisición	Boolean
	Array	Array de 3 dimensiones que contiene la secuencia adquirida	Uint16
	Tomadas	No se utiliza	
	FPSreal	No se utiliza	
	Imagen	No se utiliza	



CargarBandaFITS.vi

Objetivo:	Cargar una imagen concreta de una secuencia guardada en un archivo FITS.		
SubVIs:	<i>ObtenerInfoHDR, CalculaBytesPreBanda.</i>		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Imagen In	Variable de tipo imagen necesaria para almacenar la imagen leída	IMAQImage
	Ruta FITS	Ruta del fichero FITS de origen	
	Banda	Banda concreta que se quiere extraer del fichero.	Int32
Salidas:	Imagen out	Imagen deseada extraída del fichero.	IMAQImage



ComprobarEstableSBIR.vi

Objetivo:	Comprobar si el cuerpo negro SBIR está estable a la temperatura indicada como consigna.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Visa SBIR ID	Identificador del instrumento conectado en la sesión VISA.	VISA Session
Salidas:	Visa SBIR ID out	Identificador del instrumento conectado en la sesión VISA.	VISA Session
	Estable	Confirmación de estabilidad en el cuerpo negro	Boolean

Comprobar estabilización con el Byte de estatus

CrearImagenIMAQ.vi

Objetivo:	Crear una instancia tipo de dato Imagen con unas características concretas. Utilizando los VI's de IMAQ Vision		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	TipoDato	Código que indica el tipo de dato de la imagen que se va a crear. Se trasforma a un valor numérico	String
	Nombre	Nombre de la instancia de imagen generada	String
	DimX	Dimensión X de la imagen.	Uint16
	DimY	Dimensión Y de la imagen.	Uint16
	error in	No se utiliza.	
Salidas:	Image Out	Imagen generada	IMAQImage
	error out	No se utiliza	

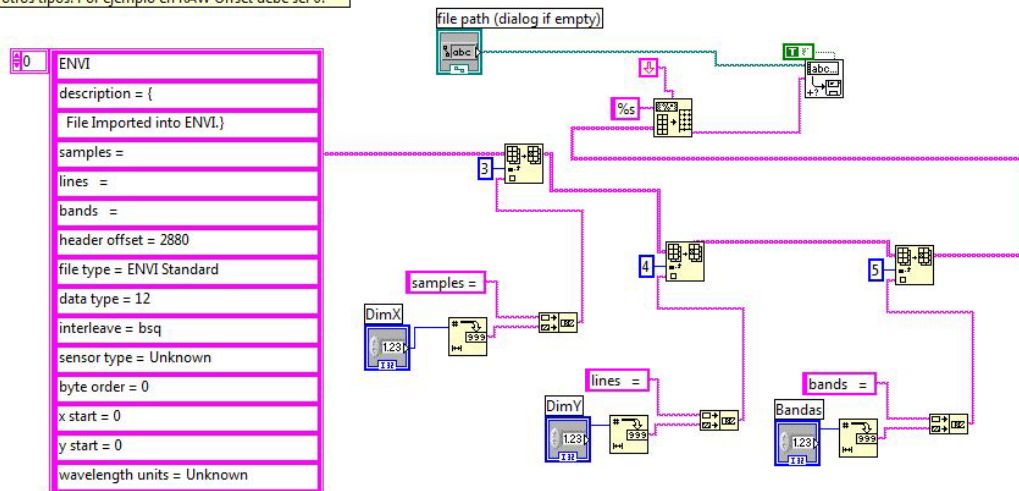
Entradas

Salidas

EscribirHDR.vi

Objetivo:	Escribir el archivo de cabecera (*.hdr) para abrir con la aplicación ENVI una secuencia generada.		
SubVIs:			
Entradas:	Nombre	Descripción	Tipo
	DimX	Dimensión X de la secuencia	Uint16
	DimY	Dimensión X de la secuencia	Uint16
	Bandas	Numero de bandas de la secuencia.	Uint16
Salidas:	Path	Ruta completa del archivo que va a escribirse.	File path

Se deben cambiar los parámetros para generar cabeceras de otros tipos. Por ejemplo en RAW Offset debe ser 0.

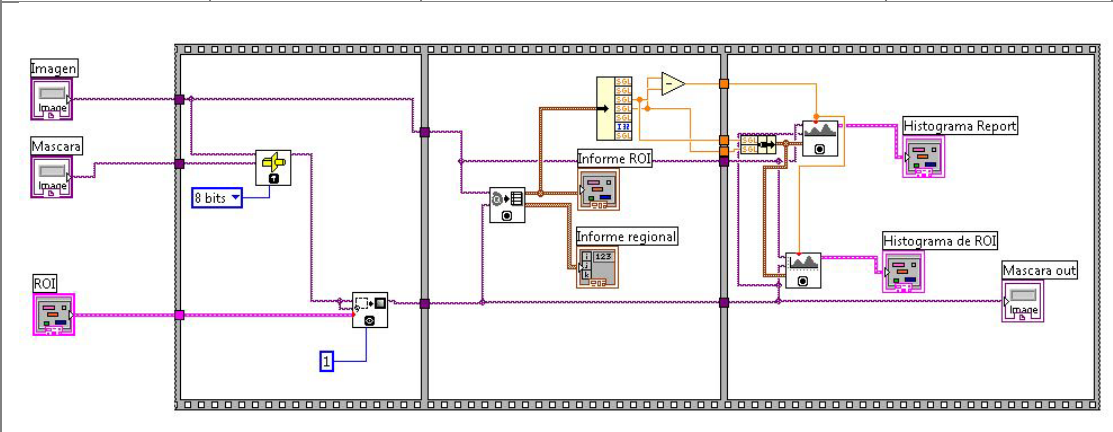


EstabilizadorCN's.vi

Objetivo:	Obtener la estabilización de un cuerpo negro, devolviendo temperaturas de estabilización y ambiente, y conectando y desconectando el instrumento de la aplicación.		
SubVIs:	<i>LecturaTempSBIR.vi, ComprobarEstableSBIR.vi</i>		
Entradas:	Nombre	Descripción	Tipo
	T.Consig	Temperatura que se desea obtener en la estabilización.	Double
	CN	Código que indica que modelo de cuerpo negro se utilizará	Unit8
Salidas:	Estable	Valor que indica si se ha llegado a la estabilización o no	Boolean
	T. Abs	Temperatura a la que se ha llegado en la estabilización.	Double
	T. Amb	Temperatura ambiente en el momento de la estabilización. (sólo modelo 2004G)	Double

EstadisticasROI.vi

Objetivo:	Generar las estadísticas de la ROI seleccionada por el usuario en la imagen.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Imagen	Imagen original en la que se han seleccionado la ROI's	IMAQImage
	Mascara	Imagen que contendrá la máscara de ROI's	IMAQImage
	ROI	Datos de que definen las ROI's marcadas.	Cluster (2)
Salidas:	Informe ROI	Datos estadísticos del la ROI seleccionada	Cluster (7)
	Informe ROI	Datos estadísticos del la ROI seleccionada	Cluster (7)
	Histograma Report	No se utiliza esta salida	
	Histograma de ROI	No se utiliza esta salida	
	Mascara out	No se utiliza esta salida	



ExtraerDims3D.vi

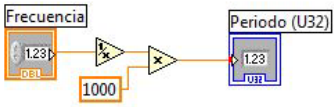
Objetivo:	Obtener, a partir de un array de tres dimensiones, el tamaño de esas dimensiones.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Array	Array del cual se quiere extraer la información	Array Double
Salidas:	X	Tamaño de la dimension X del array	Uint16
	Y	Tamaño de la dimension Y del array	Uint16
	Bandas	Tamaño de la dimension Z del array	Uint16

FPSreal.vi

Objetivo:	Calcular la frecuencia real a la que se está ejecutando cualquier estructura de bucle, timed, while, etc. Convirtiendo el periodo de iteración en frecuencia.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Milisegundos i	Tiempo en milisegundos de la iteración actual.	Uint32
	Milisegundos i-1	Tiempo en milisegundos de la iteración anterior.	Double
Salidas:	FPS real	Velocidad real del bucle en frecuencia	Double
	Milisegundos i	Tiempo en milisegundos de la iteración actual. Necesario para la siguiente invocación de FPS Real	Double

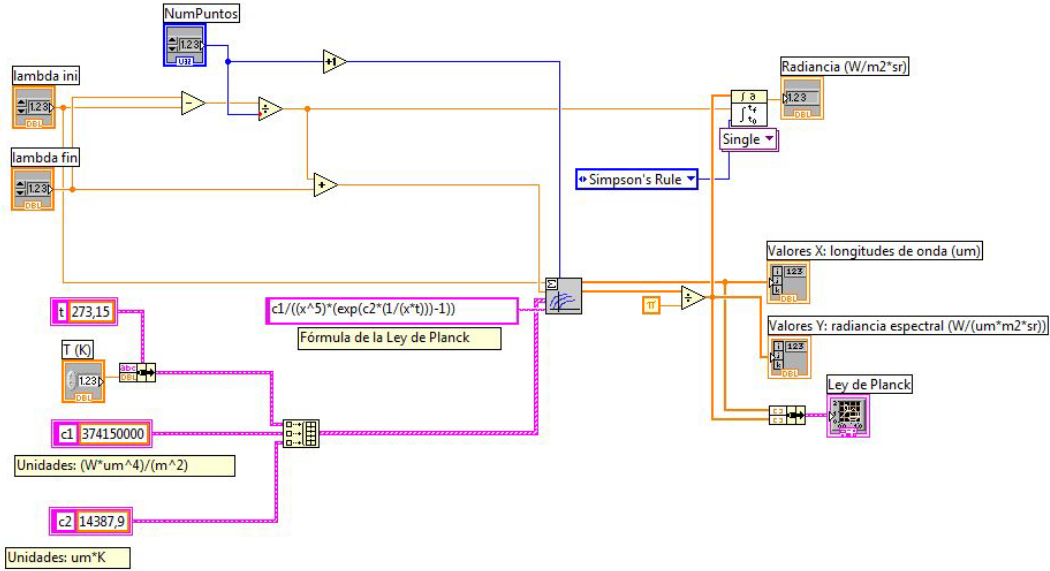
FrecuenciaToPeriodo.vi

Objetivo:	Convertir un valor de frecuencia en periodo.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Modificadores
Entradas:	Frecuencia	Valore de frecuencia que se va a convertir.	Double
Salidas:	Periodo(U32)	Valor de periodo convertido.	Uint32



IntegralPlanck.vi

Objetivo:	Obtener la radiancia integrada dentro de un rango de longitudes de onda y para una temperatura determinada aplicando la ley de Planck		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Lambda ini	Longitud de onda inicial del rango	Double
	Lambda fin	Longitud de onda final del rango	Double
	NumPuntos	Número de puntos dentro del rango a los que aplicaremos la función. Resolución espectral	Uint16
	Temperatura	Temperatura a la que se quiere aplicar el cálculo. (K).	Double
Salidas:	Radiancia	Radiancia integrada calculada (W/m ² ·sr)	Double

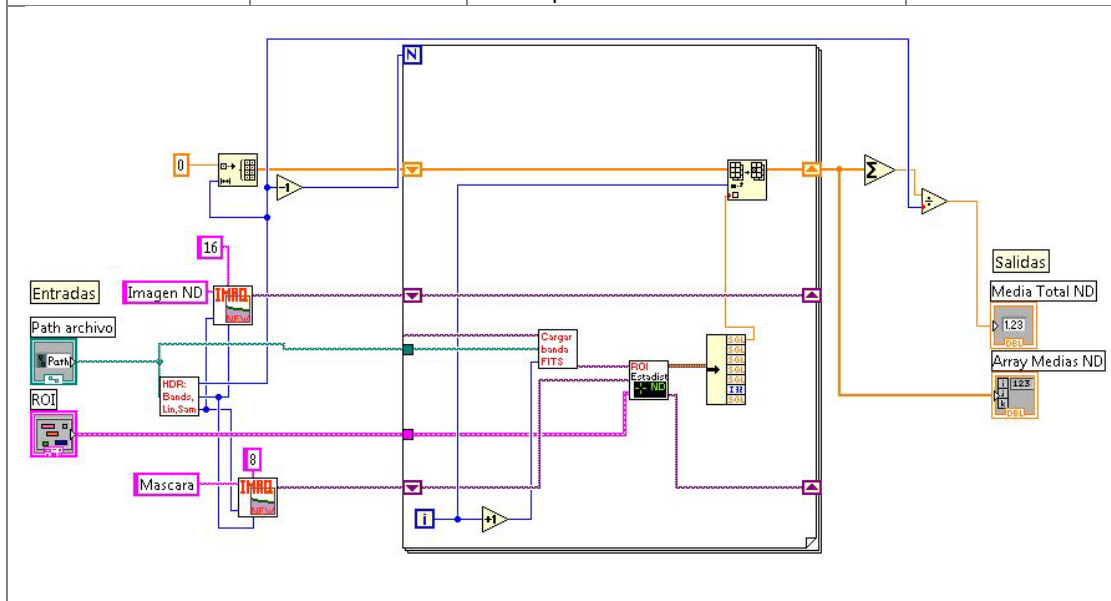


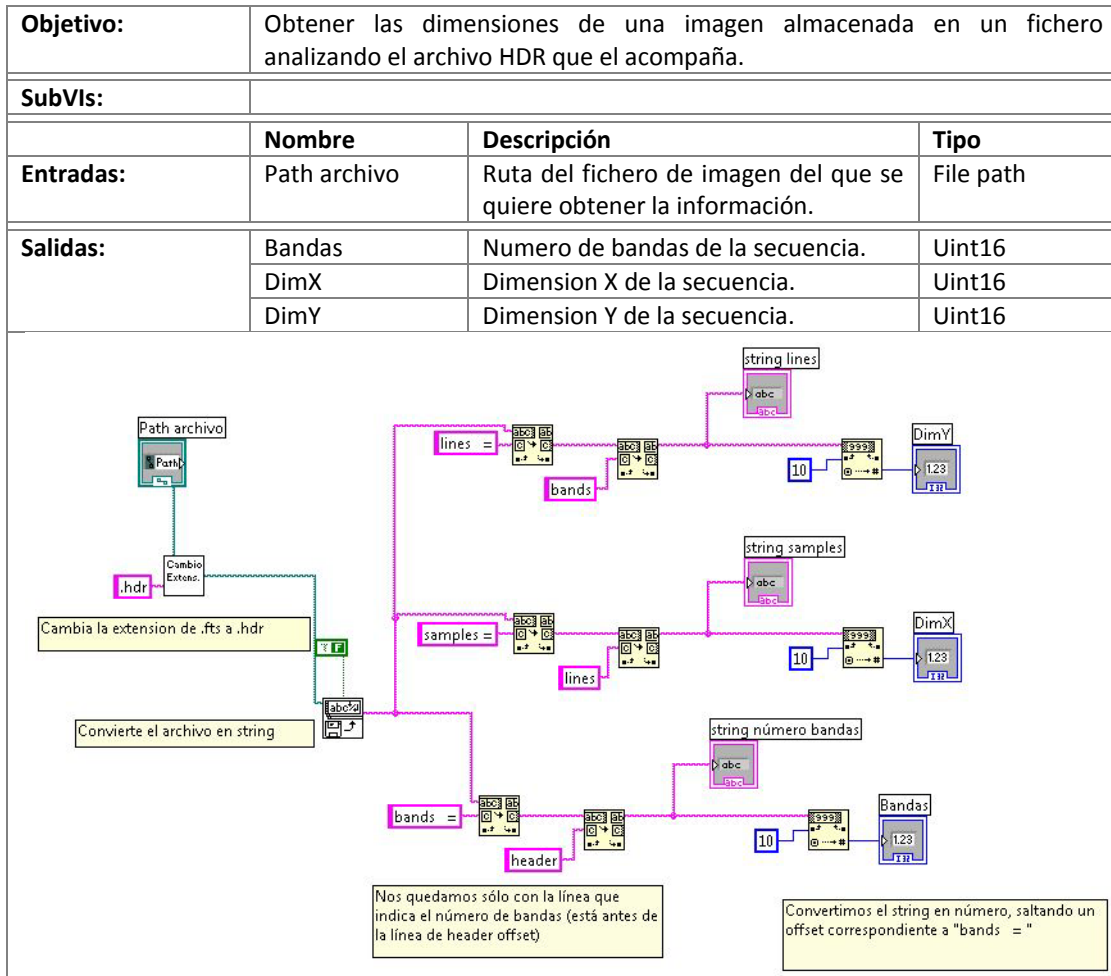
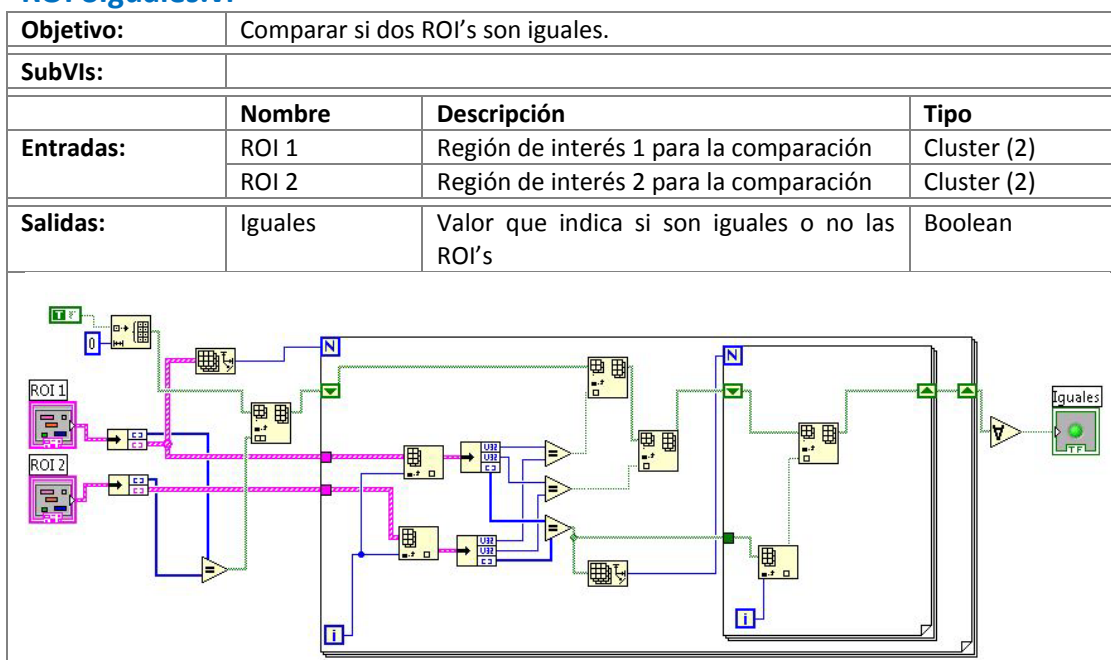
LecturaTempSBIR.vi

Objetivo:	Obtener temperatura de cuerpo negro y temperatura ambiente.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Visa SBIR ID	Identificador del instrumento conectado en la sesión VISA.	VISA Session
	Abs/Amb	Código para identificar qué temperatura queremos obtener.	String
Salidas:	Visa SBIR ID out	Identificador del instrumento conectado en la sesión VISA.	VISA Session
	Temperatura	Temperatura solicitada al instrumento.	Double

MediaSecuenciaROI.vi

Objetivo:	Obtener a partir de un fichero de secuencia FITS el promedio total de todos los pixeles de una ROI y de todas las bandas. Y un array con el promedio en la ROI para cada banda.		
SubVIs:	<i>CrearImagenIMAQ.vi, ObtenerInfoHDR, CargarBandaFITS.vi, EstadisticasROI.vi</i>		
Entradas:	Nombre	Descripción	Tipo
	Path archivo	Ruta del fichero de imagen del que se quiere promediar.	File path
	ROI	Datos de que definen la ROI en la imagen.	Cluster (2)
Salidas:	Media Total ND	Promedio de todos los pixeles en la ROI y en todas las bandas.	Double
	Array Medias ND	Array de promedios para cada banda de los pixeles en la ROI	Array Double



ObtenerInfoHDR.vi**ROI'Siguales.vi**

SaveFITSHDR.vi

Objetivo:	Escribir a disco una secuencia de imágenes contenidas en un array en formato FITS y el archivo de cabecera HDR.		
SubVIs:	<i>ExtraerDims3D.vi, CambiarExtension.vi, ExcribirHDR.vi</i>		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Etiqueta opcional FITS	Conjunto de campos que se desean incluir en la cabecera del archivo FITS	Array String
	Array Imagenes	Array 3D que contiene la secuencia que se quiere escribir en el archivo	Int16
	Path	Ruta completa del archivo de salida	File path
Salidas:			

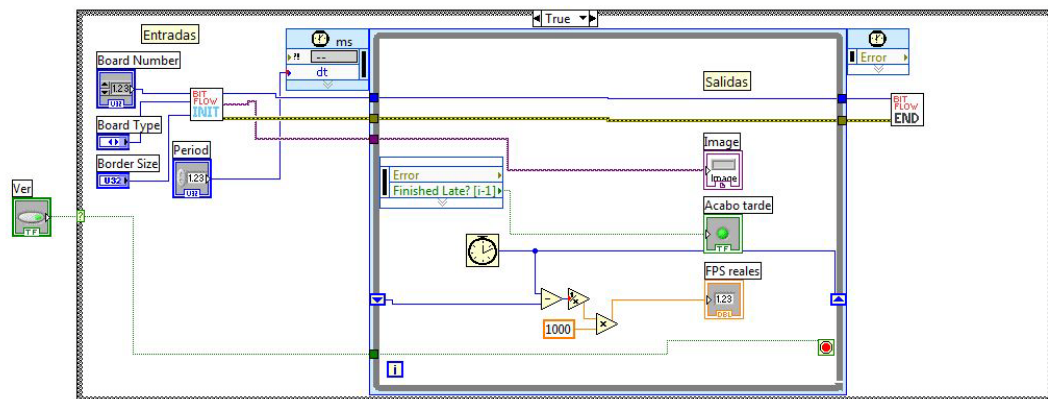
Por si ya no esta accesible la ruta.

SucesoTemp.vi

Objetivo:	Obtener la cadena de caracteres que contiene la hora (hora, minutos y segundos) que se escribirá en el listado de sucesos.		
SubVIs:			
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Hora	Se obtiene del sistema la hora solicitándola con segundos.	String
	Suceso	Descripción del suceso.	String
Salidas:	SucesoCompleto	Concatenados hora y suceso, con el carácter espacio entre ellas.	String

VerDirecto.vi

Objetivo:	Generar, para su visualización en directo, la imagen de la cámara. Gestionando la conexión con la tarjeta de adquisición.		
SubVIs:	<i>BitFlowInit.vi, FPSreal.vi, BitFlowEnd.vi</i>		
	Nombre	Descripción	Tipo
Entradas:	Ver	Valor que indica si se debe conectar y visualizar.	Boolean
	Board Number	Identificador de la tarjeta para la comunicación con ella.	UInt32
	Periodo	Tiempo entre imágenes de la visualización en directo.	UInt32
Salidas:	Imagen	Imagen generada para la visualización.	IMAQImage
	FPS reales	Frecuencia real a la que se están visualizando las imágenes.	Double
	Acabo tarde	No se utiliza.	



Anexo III. Presupuesto.



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Escuela politécnica superior

PRESUPUESTO DE PROYECTO

1. **Autor:** Felipe Díaz Cantó2. **Departamento:** Física3. **Descripción del Proyecto:**

- **Título:** Sistema Automático de Calibración de Instrumentación de Imagen IR
- **Duración:** 6.5 meses

4. **Presupuesto Total (en euros):** 11.373,905. **Desglose presupuestario**

Personal

Apellidos y nombre	Categoría	Dedicación [hombres mes]*1	Coste hombre mes	Coste [euros]
Díaz Cantó, Felipe	Ingeniero Técnico	5	2.245,35	8.981,40
Total:				8.981,40

*1) 1 Hombre mes = 131,25 horas. Máximo anual de dedicación se 12 hombre mes (1.575)

Máximo anual para PDI de la UC3M de 8,8 hombres mes (1.155 horas)

Equipos

Descripción	Coste (euros)	Uso en proyecto [%]	Dedicación [meses]	Periodo de depreciación	Coste Imputable
Cámara Merlin Uncooled	20.000,00	100	3	60	1.000,00
CN SBIR 2004G	15.000,00	100	3	60	750
CN SBIR 4006G	12.000,00	100	3	60	600
PC I3 3220	850,00	100	3	60	42,50
Total:					2.392,50

6. Resumen de Costes

Personal	8.981.40
Amortización de Equipamiento	2.392.50
Total:	11.373,90

Anexo IV. Versiones de Software

Software	Versión
S.O. Windows	Windows 7 Professional 32bits. Microsoft Windows, ver. 6.1 (compilation 7601: Service Pack 1)
LabVIEW	LabVIEW Professional Development System, ver. 8.5
NI-IMAQ	NI-IMAQ Vision, ver 3.8.0
	NI-IMAQ for 1394, ver. 2.0.5
	NI-IMAQ I/O, ver 2.1.0
	NI-IMAQdx, ver 3.1.0
NI-VISA	NI-VISA and NI-VISA Runtime ver. 4.2
GPIB Driver	NI-488/NI-488.2
BitFlow SDK	System Development Kit. ver. 5.20

Bibliografía

- [Aranda] Aranda, J.M, *Espectrometría de imagen en el infrarrojo: una contribución al estudio de las combustiones y a la teledetección de incendios forestales*. Tesis doctoral, Universidad Carlos III de Madrid, 2002.
- [Driggers] Driggers, R.G., *Introduction to infrared and electro-optical systems*. Artech House, 1999.
- [Holst] Holst, G. C., *Electro-optical imaging system performance*. SPIE Optical Engineering Press, 1995.
- [Hudson] Hudson, R. D. *Infrared system engineering* / Richard D. Hudson Jr. New York; Sydney: Wiley-Interscience, 1969.
- [LabVIEW] *Getting Started with LabVIEW*. National Instruments. 2010
- [Merlin Uncooled] *Merlin Uncooled Microbolometer Camera. User's Guide. Ver. 1.2*
- [NI-IMAQ] *NI IMAQ Vision for LAbVIEW User Tutorial, NI IMAQ Vision Concepts Manual y NI IMAQ Vision Assistant Tutorial*. 2008
- [NI Vision] *NI Vision Concepts Manual y NI Vision Assistant Tutorial*. National Instruments. 2008
- [Road Runner] *Road Runner Technical Documentation y Road Runner Software Reference*. BitFlow Inc. 1996.
- [SBIR 2004] *Operating Manual. Santa Barbara Infrared, Inc. 2000 Series Infrared Radiation Sources*. Santa Barbara Infrared, Inc. 2003
- [SBIR 4006] *Operating Manual. Santa Barbara Infrared, Inc. 4000 Series and 4100 Series Infrared Radiation Sources*. Santa Barbara Infrared, Inc. 2001
- [website 01] http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum
- [website 02] http://en.wikipedia.org/wiki/IR_radiation
- [website 03] http://en.wikipedia.org/wiki/Plank_law
- [website 04] http://en.wikipedia.org/wiki/Black_body
- [website 05] <http://en.wikipedia.org/wiki/Emissivity>
- [website 06] <http://lema.rae.es/drae/?val=calibrar>

- [website 07] <http://www.ni.com/labview/esa>
- [website 08] <http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
- [website 09] <http://en.wikipedia.org/wiki/FITS>
- [website 10] <http://www.fileformat.info/format/fits/egff.htm>
- [website 11] http://en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values
- [website 12] <http://www.exelisvis.com/ProductsServices.aspx>
- [website 13] http://www.esri.es/es/productos/aplicaciones-especializadas/envi_66
- [website 14] http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_Instrument_Software_Architecture
- [website 15] http://en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values
- [website 16] <http://www.bitflow.com/>
- [website 17] <http://www.electro-optical.com/>
- [website 18] <http://www.sbir.com/>